

VILNIAUS UNIVERSITETAS

INGRIDA ANTONOVA

SU REGIMUOJU ERDVĖS SUVOKIMU SUSIJUSIO SMEGENŲ AKTYVUMO
DINAMIKOS TYRIMAI EEG MIKROBŪSENŲ METODU

Daktaro disertacijos santrauka
Biomedicinos mokslai, Biofizika (02B)

Vilnius, 2016 metai

Disertacija parengta 2011 – 2016 metais Vilniaus universitete ir Universitetinėje psichiatrijos ligoninėje, Berno universitete

Moksliniai vadovai:

Prof. dr. Thomas Koenig (Berno universitetas, Universitetinė psichiatrijos ligoninė, biomedicinos mokslai, biofizika – 02B) (nuo 2013-10-14 iki – 2016-03-31)

Dr. Kastytis Dapšys (Vilniaus universitetas, biomedicinos mokslai, biofizika – 02B) (nuo 2011-10-01 iki 2013-10-13)

Mokslinė konsultantė:

Doc. dr. Inga Griškova-Bulanova (Vilniaus universitetas, biomedicinos mokslai, biofizika – 02B)

Disertacija ginama Vilniaus universiteto Biofizikos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkas – prof. habil. dr. Aleksandr Bulatov (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, biomedicinos mokslai, biofizika – 02B).

Nariai:

prof. dr. Aidas Alaburda (Vilniaus universitetas, biomedicinos mokslai, biofizika – 02B);

dr. Aušra Daugirdienė (Lietuvos edukologijos universitetas, biomedicinos mokslai, biofizika – 02B);

dr. Tonia Rihs (Ženevos universitetas, biomedicinos mokslai, biofizika – 02B);

doc. dr. Gytis Svirskis (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, biomedicinos mokslai, biofizika – 02B).

Disertacija bus ginama viešame Biofizikos mokslo krypties tarybos posėdyje 2016 m. kovo mėn. 23 d. 14 val. Jungtinio gyvybės mokslų centro R105 auditorijoje.

Adresas: Saulėtekio al. 7, Vilnius, Lietuva.

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2016 m. vasario mėn. 23 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto bibliotekoje ir VU interneto svetainėje adresu: www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius

VILNIUS UNIVERSITY

INGRIDA ANTONOVA

CORTICAL DYNAMICS OF VISUOSPATIAL PROCESSING INVESTIGATED BY EEG
MICROSTATES METHOD

Summary of Doctoral Dissertation

Biomedical Sciences, Biophysics (02B)

Vilnius, 2016

Disertation prepared in 2011 – 2016 at Vilnius University and the University Hospital of Psychiatry, University of Bern

Scientific supervisors:

Prof. dr. Thomas Koenig (University of Bern, University Hospital of Psychiatry, Biomedical Sciences, biophysics – 02B) (2013-10-14 – 2016-03-31)

Dr. Kastytis Dapšys (Vilnius University, Biomedical Sciences, biophysics – 02B) (2011-10-01 – 2013-10-13)

Scientific consultant:

Doc. dr. Inga Griškova-Bulanova (Vilnius University, Biomedical Sciences, biophysics – 02B)

Dissertation will be defended at Vilnius University Biophysics council:

Chairman – prof. habil. dr. Aleksandr Bulatov (Lithuanian University of Health Sciences, Biomedical Sciences, Biophysics – 02B).

Members:

prof. dr. Aidas Alaburda (Vilnius University, Biomedical Sciences, Biophysics – 02B);
dr. Aušra Daugirdienė (Lithuanian University of Educational Sciences, Biomedical Sciences, Biophysics – 02B);
dr. Tonia Rihs (University of Geneva, Biomedical Sciences, Biophysics – 02B);
doc. dr. Gytis Svirskis (Lithuanian University of Health Sciences, Biomedical Sciences, Biophysics – 02B).

Dissertation will be defended at public Biophysics council meeting 2016-03-23, 14:00 in United Centre of Life Sciences, room R105.

Address: Saulėtekio av. 7, Vilnius, Lithuania.

Summary of doctoral dissertation was sent 2016-02-23.

Dissertation can be found at Vilnius University Library and VU internet address:
www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius

Turinys

Santrumpos.....	7
1. Įvadas.....	8
1.1. Tikslas ir uždaviniai	9
1.2. Aktualumas ir naujumas	9
1.3. Pritaikymas.....	10
1.4. Ginamieji teiginiai.....	10
2. Metodai.....	11
2.1. Tiriamieji	11
2.2. Dirgikliai ir užduotis.....	11
2.2.1. Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo užduotis.....	11
2.2.2. PRL užduotis	12
2.3. EEG duomenų rinkimas	14
2.4. Elgseninių duomenų analizavimas	15
2.5. EEG duomenų vertinimas.....	16
2.5.1. Topografijos pastovumo testas	18
2.5.2. Mikrobūsenų segmentavimas ir analizė	18
3. Rezultatai.....	21
3.1. Elgseninių tyrimų rezultatai	21
3.1.1. Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas	21
3.1.2. PRL užduotis	22
3.2. SĮSP rezultatai	23
3.2.1. Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas	23
3.2.2. PRL užduotis	27
4. Aptarimas	32
4.1. Smegenų tinklų aktyvumas atliekant regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo užduotis.....	32
4.2. Regimojo erdvinio vertinimo ir neerdvinio vertinimo reakcijos laikai	33
4.3. Regimojo erdvinio vertinimo ir neerdvinio vertinimo sukelti komponentai	33
4.4. Reakcijos laikai į lateralizuotus dirgiklius.....	35
4.5. Periferijoje pateikiamų dirgiklių sukeltas aktyvumas	37
4.5.1. Ankstyvieji komponentai (~100–250 ms)	37
4.5.2. Vėlesni komponentai (~250–460 ms).....	38
4.5.3. Kiti komponentai	39
4.6. Ryšiai tarp SĮSP, RL ir informacijos apdorojimo stadijų	39
4.7. Pusrutulių asimetrija.....	40

4.8. Apibendrinimas	41
5. Išvados.....	42
6. Literatūros sąrašas	43
7. Publikacijos	50
8. Padėka	53
9. Gyvenimo aprašymas	54
10. Reziumė.....	56

Santrumpos

Ag/AgCl – sidabro/sidabro chlorido elektrodai

ANOVA – dispersinė analizė (angl. *analysis of variance*)

EEG – elektroencefalograma

EOG – elektrookulograma

DTV – difuzijos tenzorius vaizdinimas

fMRT – funkcinio magnetinio rezonanso tomografija

LL – kairė lateralinė

ML – kairė medialinė

MR – dešinė medialinė

PRL – pasirinkimo reakcijos laikas

RL – reakcijos laikas

RR – dešinė lateralinė

SĮSP – su įvykiu susijęs potencialas

1. Įvadas

Regimoji erdvinė informacija yra labai svarbi tam, kad galima būtų veikti mus supančioje aplinkoje. Regimosios erdvinės informacijos apdorojimas apima informacijos apie objektus ir vietas erdvėje apdorojimą (Hannay et al., 1976; McIntosh et al., 1994) bei informacijos apie objektų atskirų dalių santykius erdvėje apdorojimą, pvz., linijų pakrypimą (Benton et al., 1975), kampus (de Graaf et al., 2010), atstumus (Benwell et al., 2014). Objektų dalių santykių erdvėje analizavimas vadinamas regimuoju erdvinio vertinimu ir laikomas aukštesniąja regimojo erdvinio apdorojimo funkcija (de Graaf et al., 2010). Objektų dalių santykių erdvėje pavyzdžiai gali būti linijos pakrypimas (Benton et al., 1975), kampai (de Graaf et al., 2010) ar atstumai (Benwell et al., 2014).

Apie regimajame erdviniam vertinime dalyvaujančias smegenų sritis bei dešiniojo pusrutulio pirmenybę atliekant regimosios erdvinės informacijos apdorojimą (de Graaf et al., 2010; Lehmann et al., 2006; Sack et al., 2002a; Vannini et al., 2004, 2007, 2008) yra gerai žinoma. Tai buvo nustatyta funkcinio magnetinio rezonanso tomografijos (fMRT) metodu, kuris pasižymi gera erdvine skiriamąja geba, t. y. parodo smegenų sritis, kurios yra aktyvios atliekant tam tikras užduotis. Tačiau fMRT metodo laikinė skiriamoji geba yra prasta. Dėl šios priežasties smegenų tinklų laikinė dinamika, vykstant regimosios erdvinės informacijos apdorojimui, iki šiol nebuvo iširta.

Siekiant iširti regimojo erdvinio apdorojimo laikinę dinamiką, turėtų būti taikomas gera laikine skiriamąja geba pasižymintis metodas. Elektroencefalografija (EEG) pasižymi gera laikine skiriamąja geba. Kai EEG įrašoma užduoties atlikimo metu, galima išskirti signalus, vadinamus su įvykiu susijusiais potencialais (SĮSP). SĮSP yra smegenų atsakas į tam tikrą įvykį. EEG signalai gali būti analizuojami taikant įvairius metodus, ir vienas iš jų yra mikrobūsenos.

Mikrobūsenos yra apibūdinamos kaip trumpalaikės stabilios EEG topografijos. Remiantis mikrobūsenų latencija ir topografija jos gali būti susietos su tam tikrais su įvykiu susijusiais potencialais (SĮSP) (Michel et al., 2009). Mikrobūsenų analizė turi privalumų, palyginti su SĮSP, nes leidžia iširti žievinių tinklų aktyvumą, įvertindama laikinės dinamikos savybes (pradžią, trukmę ir stiprumą), skirtingose sąlygose ir skirtingose grupėse. Mikrobūsenų analizė ne tik suteikia žinių apie laikinę dinamiką, bet taip pat leidžia palyginti dinamikos rezultatus su smegenų vaizdinimo tyrimų rezultatais.

Mikrobūsenų analizė yra vertingas metodas, bet iki šiol nebuvo taikytas regimajam erdviniam suvokimui tirti, todėl tokie tyrimai papildytų jau sukauptas žinias suteikdami naujos informacijos apie laikinę regimojo erdvinio apdorojimo dinamiką. Smegenų sričių aktyvumo pokyčiai yra nustatyti esant sutrikusiam regimajam erdviniam apdorojimui (Prvulovic et al., 2002; Thulborn et al., 2000; Vannini et al., 2007, 2008; White et al., 2011). Dėl to EEG pagrįsti regimojo erdvinio suvokimo tyrimai galėtų būti naudingi siekiant sukurti paprastas ir plačiai naudojamas procedūras regimojo erdvinio suvokimo sutrikimams tirti.

1.1. Tikslas ir uždaviniai

Šio darbo tikslas buvo ištirti laikinę regimosios erdvinės informacijos apdorojimo dinamiką taikant EEG mikrobūsenų metodą.

Uždaviniai:

1. Palyginti regimojo erdvinio suvokimo laikinę dinamiką, kai atliekamas regimasis erdvinis ir neerdvinis spalvų vertinimas.
2. Įvertinti dirgiklių lateralizacijos poveikį regimojo erdvinio suvokimo laikinei dinamikai, kai atliekama pozicijos nustatymo užduotis.

1.2. Aktualumas ir naujumas

Pirmą kartą regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo paradigma buvo panaudota EEG tyrimuose, ir buvo nustatyti laikinės dinamikos skirtumai tarp regimojo erdvinio vertinimo ir neerdvinio vertinimo.

Pirmą kartą užduotis su keturiais lateralizuotais dirgikliais buvo naudojama EEG tyrime tirti regimąjį erdvinį suvokimą EEG metodu, ir buvo nustatyti skirtingai lateralizuotų dirgiklių apdorojimo laikinės dinamikos skirtumai.

1.3. Pritaikymas

Šių tyrimų rezultatai suteikia žinių apie regimojo erdvinio suvokimo procesų laikinę dinamiką. Parodyta, jog taikytos paradigmos yra tinkamos naudoti EEG tyrimuose, o mikrobūsenų analizė aptinka laikinę dinamiką ir nustato jos skirtumus tarp sąlygų. Šios žinios yra svarbios siekiant sukurti EEG pagrįstas regimosios erdvinės informacijos apdorojimo sutrikimų tikrinimo procedūras.

1.4. Ginamieji teiginiai

1. Regimasis erdvinis vertinimas ir neerdvinis spalvų vertinimas skiriasi sukeliamų EEG mikrobūsenų laikinėmis savybėmis.

2. Lateralizuoti regimieji dirgikliai sukelia ankstyvas lateraliai pasirodančias EEG mikrobūsenas, savo topografijomis bei latencija susijusias su lateralizuotu N1 komponentu.

2. Metodai

2.1. Tiriamieji

Dviejuose tyrimuose dalyvavo 50 tiriamųjų:

22 sveiki tiriamieji (14 moterų, 8 vyrai; amžiaus vidurkis – 26,7 metai, standartinis nuokrypis (SN) – 3.1) dalyvavo regimojo erdvinio vertinimo ir neerdvinio (Spalvos) vertinimo tyrime.

28 sveiki tiriamieji (17 moterų, 11 vyrų; amžiaus vidurkis – 35.6 metai, SN – 10.5) dalyvavo 4 pasirinkimų reakcijos laiko (PRL) tyrime.

Visi tyrimų dalyviai buvo sveiki, normalaus ar koreguoto regėjimo dešiniarankiai. Rankiškumui nustatyti buvo naudojama sutrumpinta Edinburgo rankiškumo aprašo (angl. *Edinburgh handedness inventory*) versija (Oldfield, 1971). Vidutinės rankiškumo reikšmės pateiktos **2.1 lentelėje**. Tiriamieji buvo informuoti likus bent keturioms valandoms iki EEG sesijos pradžios nevartoti kofeino bei nikotino.

Tyrimams gautas Berno kantono etikos komiteto leidimas. Prieš kiekvieną tyrimą visi tiriamieji pasirašė sutikimus dalyvauti tyrimuose.

2.1 lentelė. Demografinė informacija apie tiriamuosius, dalyvavusius dviejuose eksperimentuose,

	Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas	PRL tyrimas
Amžius (SN)	35.6 (10.5)	26.7 (2.4)
Moterų ir vyrų santykis	17:11	9:2
Vidutinė rankiškumo reikšmė (SN)	97.0 (7.3)	91.3 (12.1)

2.2. Dirgikliai ir užduotis

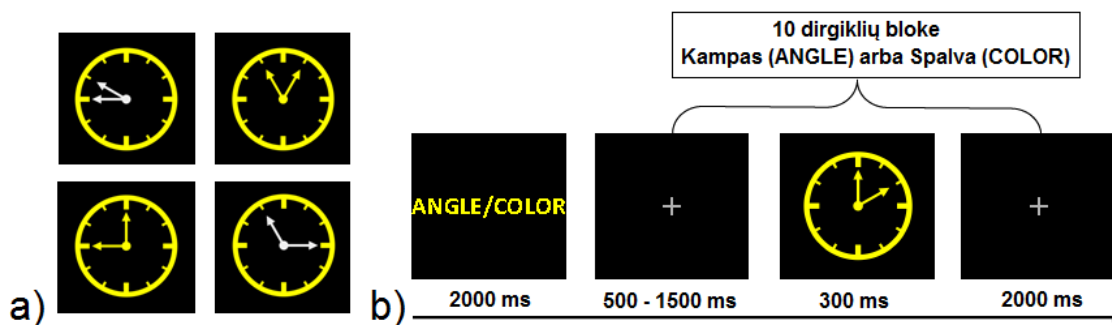
2.2.1. Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo užduotis

Dirgiklių bei eksperimento eigos pavyzdžiai pateikti paveiksluose **2.1a** ir **2.1b**. Dirgikliai buvo panašūs į naudotus ankstesniuose funkcinio magnetinio rezonanso tomografijos (fMRT) tyrimuose (de Graaf et al., 2009, 2010; Sack et al., 2002a, 2007). Visi dirgikliai buvo juodame fone schematiškai pavaizduoti laikrodžių ciferblatai su geltonais kontūrais bei baltomis arba geltonomis rodyklėmis. Kampai tarp laikrodžio rodyklių didėjo kas 30°: 30°, 60°, 90°, 120°, 150°. Dirgikliai buvo identiški, bet skyrėsi užduočių instrukcijos: regimojo erdvinio vertinimo (Kampo) užduotyje „taikiniai“ (angl.

target) buvo 30° ir 60° kampai (maži kampai), „netaikiniai“ (angl. *non-target*) buvo 90°, 120° ir 150° kampai (dideli kampai). Neerdvinio spalvos vertinimo (Spalvos) užduotyje „taikiniai“ buvo baltos rodyklės, o „netaikiniai“ – geltonos.

Dirgikliai buvo pateikiami blokais po 10 (išsamiau **2.1b** paveiksle ir lentelėje **2.2**), *Kampo* ir *Spalvos* užduoties blokai buvo pateikiami pakaitomis. Kiekvieno bloko pradžioje 2000 ms pasirodydavo instrukcija, nurodanti užduotį (Kampas arba Spalva, angl. ANGLE/COLOR). Dirgiklio pasirodymo trukmė buvo 300 ms, o intervalų tarp dirgiklių trukmė pseudoatsitiktine tvarka kito nuo 2500 iki 3500 ms (žingsnis kas 250 ms su vienodu pasiskirstymu). Tarp dirgiklių pasirodymų ekrano centre atsirasdavo baltas fiksacijos kryžius. Kiekvieno bandymo metu reakcijos laikas buvo registruojamas nuo dirgiklio pateikimo iki mygtuko paspaudimo.

Dalyviai atliko užduotis pritemdytoje ir ekranuotoje EEG kameroje. Dirgikliai buvo pateikiami skystųjų kristalų monitoriuje (HP L1950, 19 colių įstrižainė, aukštis – 30 cm, plotis – 38 cm), esančiame 40 cm atstumu nuo tiriamojo. Smakro laikiklis buvo naudojamas galvos judesiams apriboti. Tiriamųjų buvo prašoma fiksuoti žvilgsnį į fiksacijos kryžių arba į laikrodžio centre esantį tašką. Į „taikini“ reikėjo reaguoti kuo greičiau ir tiksliau, paspaudžiant kompiuterio pelės mygtuką dešinės rankos rodomuoju pirštu, į „netaikini“ – paspaudžiant antrąjį mygtuką dešinės rankos didžiuoju pirštu.

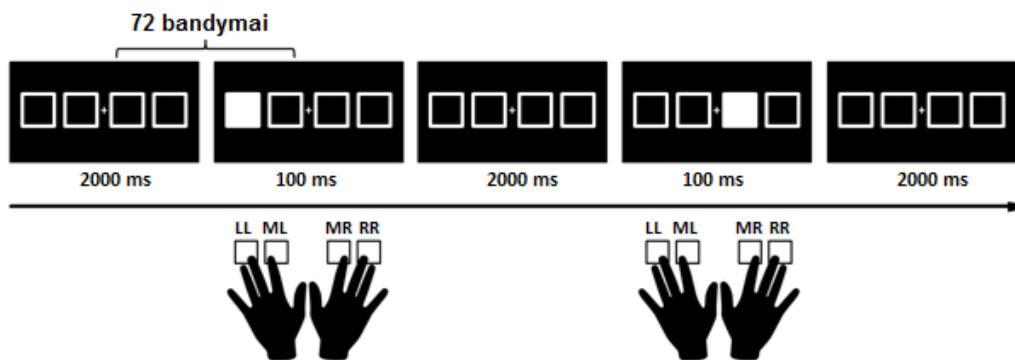


2.1 paveikslas. a) Regimojo erdvinio vertinimo ir neerdvinio spalvos vertinimo tyrime naudotų laikrodžių su 30°, 60°, 90° ir 120° kampais tarp rodyklių ir baltomis arba geltonomis rodyklėmis (pradedant nuo viršutinio kairiojo link apatinio dešiniojo kampo) pavyzdžiai. b) Vieno eksperimentinio bloko schema; bloko pradžioje pateikiama instrukcija, nurodanti užduotį (Spalvos – COLOR arba Kampo – ANGLE užduotis).

2.2.2. PRL užduotis

PRL tyrime naudojama užduotis buvo panaši į naudotą ankstesniame tyrime (Tuch et al., 2005). Dirgikliai – juodame fone pavaizduoti keturi kvadratai baltomis

kraštinėmis. Kvadratai, visą laiką rodomi kompiuterio ekrane, buvo išdėstyti horizontaliai: du kairėje fiksacijos kryžiaus pusėje, du – dešinėje. Dirgiklio priskyrimą vienai iš keturių sąlygų lėmė jo padėtis fiksacijos kryžiaus atžvilgiu ir stimuliuojama regos lauko sritis: kairė lateralinė (angl. *left lateral* – LL), kairė medialinė (angl. *left medial* – ML), dešinė medialinė (angl. *right medial* – MR), dešinė lateralinė (angl. *right lateral* – RR). Dirgiklių ir tyrimo eigos pavyzdys pateiktas 2.2 paveiksle. Kiekvieno bandymo metu vieno iš keturių kvadratų spalva trumpam pakisdavo iš juodos į baltą ir šis dirgiklis tapdavo „taikiniu“. Dėl keturių dirgiklių išdėstymo pozicijų „taikinio“ vieta galėjo būti atitinkamai viena iš keturių: LL, ML, MR, RR. „Taikinio“ pasirodymo trukmė buvo 100 ms. Laiko intervalas tarp „taikinio“ pasirodymų truko 2000 ms. Nuo Tuch et al. (2005) tyrimo šis skyrėsi tuo, kad dirgikliai buvo pateikiami atsitiktine tvarka, todėl galėjo kelis kartus iš eilės pasirodyti toje pačioje vietoje.



2.2 paveikslas. Dirgiklių ir tyrimo eigos pavyzdys.

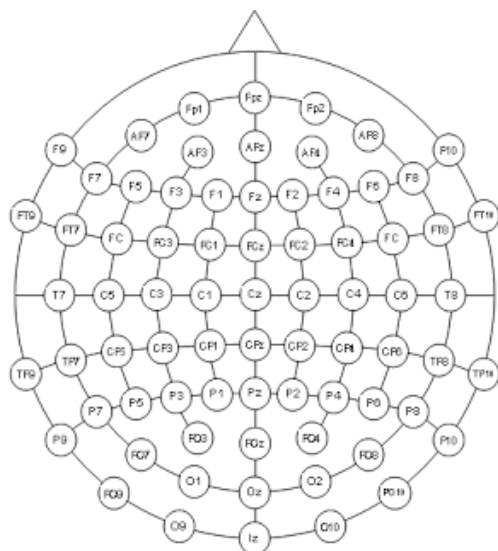
Tyrimas buvo atliekamas ekranuotoje ir pritemdytoje EEG kameroje. Tiriamieji patogiai sėdėjo 120 cm atstumu nuo kompiuterio ekrano. Visi keturi dirgikliai sudarė 6.6° ilgio ir 1.3° aukščio stimuliacijos zoną. Lateraliai išdėstyti kvadratai užėmė nuo 1.82° iki 3.12°, o medialiai išdėstyti kvadratai – nuo 0.14° iki 1.54° laipsnių stimuliacijos zoną. Tiriamųjų buvo prašoma žiūrėti į fiksacijos kryžius, esantį tarp dviejų vidurinių dirgiklių, ir reaguoti į taikinio pasirodymą kuo greičiau ir kuo tiksliau.

Viso eksperimento metu tiriamieji laikė didžiuosius ir rodomuosius abiejų rankų pirštus ant atsakymams pateikti skirtos keturių mygtukų klaviatūros. Atsakymą reikėjo pateikti paspaudžiant mygtuką, savo pozicija atitinkantį taikinio atsiradimo vietą. Atitinkamas mygtukas buvo nuspaudžiamas jam priskirtu pirštu: LL dirgiklio poziciją atitinkantis mygtukas – kairės rankos didžiuoju pirštu, ML dirgiklio poziciją atitinkantis

mygtukas – kairės rankos rodomuoju pirštu, MR dirgiklio poziciją atitinkantis mygtukas – dešinės rankos didžiuoju pirštu, RR dirgiklio poziciją atitinkantis mygtukas – dešinės rankos rodomuoju pirštu (dar žiūrėti lentelėje 2.2).

2.3. EEG duomenų rinkimas

EEG registracijai buvo naudojama EasyCap, Falk Minow (Herrsching, Vokietija) įranga. EEG įrašymui buvo naudojami žiediniai Ag/AgCl elektrodai, išdėstyti pagal tarptautinę 10/20 elektrodų išdėstymo sistemą. Vertikaliems ir horizontaliems akių judesiams registruoti po kairiąja ir dešiniąja akimis buvo pritvirtinta po elektrookulogramos (EOG) elektrodą. EEG registravimui naudota „BrainScope“ EEG sistema (M&I, Praha, Čekija).



2.3 paveikslas. EasyCap elektrodų išdėstymo schema. Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrime O9 ir O10 elektrodai nebuvo naudoti.

Atliekant regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimą EEG buvo registruojama 72 kanalais (EasyCap elektrodų išdėstymo schema pateikta 2.3 paveiksle, elektrodai O9 ir O10 nebuvo naudoti), palyginamieji elektrodai buvo C3 ir C4. Visų elektrodų tariamoji varža (impedansas) buvo išlaikoma žemiau 20 k Ω . EEG duomenys buvo nuskaitomi 500 Hz/kanalui dažniu, naudojama praleidimo juosta nuo 0.016 iki 120 Hz.

PRL tyrime EEG buvo registruojama 74 kanalais (EasyCap elektrodų išdėstymo schema pateikta 2.3 paveiksle, visi elektrodai buvo naudoti), palyginamasis elektrodas

buvo Cz. Visų elektrodų tariamoji varža buvo išlaikoma žemiau 15 k Ω . EEG duomenys buvo nuskaitomi 250 Hz/kanalui dažniu, naudojama praleidimo juosta nuo 0.3 iki 70 Hz.

2.4. Elgseninių duomenų analizavimas

Abiejų tyrimų detalių santrauka pateikta 2.2 lentelėje. Dviejų eksperimentų elgseninių duomenų analizėje naudotos sąlygos ir tirti veiksniai pateikti 2.3 lentelėje.

2.2 lentelė. Dviejų tyrimų detalių santrauka.

	Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas	PRL tyrimas
Užduotis	Regimasis erdvinis vertinimas Spalvos (neerdvinis) vertinimas	Padėties erdvėje aptikimas
Dirgikliai	Laikrodžiai	Kvadratai
Dirgiklių pateikimas	Centre	Lateralizuoti – išdėstyti horizontaliai abipus fiksacijos kryžiaus
Kampų dydžiai	30°, 60°, 90°, 120°, 150°	-
Pakeitimai	Rodyklių spalva: balta, geltona	-
Sudėtingumas	Kampas Spalva	-
Taikinio pateikimo vieta	Centre	LL – kairė lateralinė ML – kairė medialinė MR – dešinė lateralinė RR – dešinė medialinė
Dirgiklių kategorijų skaičius	10 (5 kampų dydžiai x 2 rodyklių spalvos)	4
Taikinys	Kampo užduotis: 30°, 60° Spalvos užduotis: Balta	Baltai užpildyto kvadrato vieta
„Netaikinys“	Kampo užduotis: 90°, 120°, 150° Spalvos užduotis: Geltona	Tušti (juodai užpildyti) kvadratai (ignoruoti)
Piršto priskyrimas taikiniui	Dešinysis rodomasis pirštas	LL dirg. – kairysis didysis pirštas ML dirg. – kairysis rodomasis pirštas MR dirg. – dešinysis rodomasis pirštas RR dirg. – dešinysis didysis pirštas
Piršto priskyrimas „netaikiniui“	Dešinysis didysis pirštas	-
Sąlygų pavadinimai	Kampas „taikinys“ Kampas „netaikinys“ Spalva „taikinys“ Spalva „netaikinys“	LL ML MR RR
Dirgiklių skaičius bloke	10	72
Blokų skaičius per sesiją	6 Kampo blokai 6 Spalvos blokai	4
Sesijų skaičius	4	1
Bendras bandymų skaičius	480	288
Bendra trukmė	40 min.	11 min.

Teisingai atsakytų bandymų RT vidurkiai ir užduoties atlikimo tikslumas buvo apskaičiuoti atskirai kiekvienam tiriamajam ir kiekvienai sąlygai. Elgseninių duomenų analizavimui (ANOVA ir t-testams skaičiuoti) buvo naudojama „Predictive Analysis SoftWare“ (PASW Statistics, versija 22.0.0, „Polar Engineering and Consulting“) programa. Kintamieji ANOVA analizei buvo teisingai atsakytų bandymų RL ir atsakymų tikslumas.

2.3 lentelė. Dviejų tyrimų elgseninių duomenų analizėje naudotos sąlygos ir faktoriai.

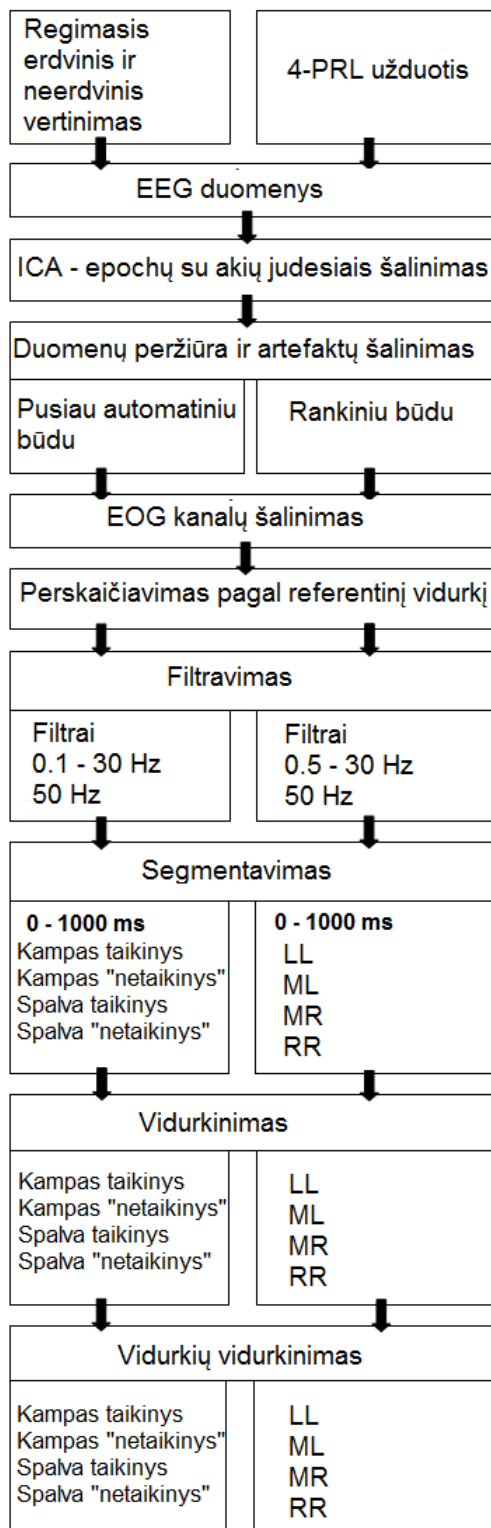
	Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas	PRL užduotis
Analizuoti kintamieji	Reakcijos laikas Tikslumas	Reakcijos laikas Tikslumas
Sąlygos	Kampas „taikiny“ Kampas „netaikiny“ Spalva „taikiny“ Spalva „netaikiny“	LL ML MR RR
2x2 ANOVA analizės veiksniai	„Užduotis“ (Kampas, Spalva) „Dirgiklis“ („taikiny“, „netaikiny“)	„Pusrutulio“ (Kairė, Dešinė) „Lateralizacija“ (Lateralinė, Medialinė)

Analizuojant regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo elgseninio tyrimo duomenis buvo atlikta 2 x 2 pakartotinių matavimų ANOVA (angl. *repeated-measures analysis of variance*) analizė, pasirinkus „Užduoties“ (Kampas arba Spalva) ir „Dirgiklio“ („taikiny“ arba „netaikiny“) veiksniais.

PRL elgseninio tyrimo metu gautiems atsakymams buvo nustatytos laiko ribos: jei tiriamasis paspausdavo mygtuką anksčiau nei 150 ms arba vėliau nei 1000 ms po „taikinio“ pateikimo pradžios, tokie atsakymai buvo traktuojami kaip riktai (angl. *outliers*) ir neįtraukiami į analizę. Siekiant nustatyti RL ir tikslumo kintamumą buvo atlikta 2 x 2 pakartotinių matavimų ANOVA analizė su pasirinktais „Pusrutulio“ (kairysis arba dešinysis) ir „Lateralizacijos“ (medialinė ar lateralinė) veiksniais.

2.5. EEG duomenų vertinimas

EEG duomenims paruošti naudota „Brain Vision Analyzer“ (versija 2.04, „Brain Products“, Miunchenas, Vokietija) programa. Pirmiausia iš EEG įrašų buvo pašalinti vertikalūs ir horizontalūs akių judesiai: jie buvo identifikuojami ir šalinami naudojantis nepriklausoma komponentų analize (angl. *independent component analysis* – ICA) (2.4 paveikslas).



2.4 paveikslas. Dviejų tyrimų EEG duomenų apdorojimo seka. PRL – pasirinkimo reakcijos laikas, ICA – nepriklausoma komponentų analizė, LL – kairė lateralinė, ML – kairė medialinė, MR – dešinė medialinė, RR – dešinė lateralinė.

Vėliau EEG įrašai buvo peržiūrėti ir pašalintos epochos, turinčios kitų artefaktų. Kanalai, kuriuose liko daug artefaktų, buvo interpoluoti remiantis gretimų kanalų duomenimis. EOG kanalai buvo pašalinti, EEG duomenys buvo perskaičiuoti pagal

palyginamąjį visų elektrodų vidurkį (angl. *average reference*) ir nufiltruoti (2.4 paveikslas). EEG epochų trukmė pasirinkta remiantis RL pasiskirstymu. EEG įrašai buvo suskaidyti epochomis, atskirai kiekvienai sąlygai. Bazinės linijos korekcija nebuvo taikyta. Išvesti epochų su teigiamais atsakymais vidurkiai, atskirai kiekvienam tiriamajam ir sąlygai. Po to paskaičiuoti gautųjų vidurkių vidurkiai (angl. *grand average*) atskirai kiekvienai sąlygai (2.4 paveikslas).

2.5.1. Topografijos pastovumo testas

Siekiant įvertinti signalo pastovumą pasirinktame analizės lange ir nustatyti naudingą analizės langą su pastoviomis topografijomis ribas buvo taikytas topografijos pastovumo testas (TPT) (angl. Topographic Consistency Test – TCT) (Koenig ir Melie-García, 2010). TPT buvo atliktas RAGU (*Randomization Graphical User interface*; Koenig et al., 2011) programa, sukurta „Matlab“ (versija 7.6.0.324, R2008a, *The MathWorks*) programos pagrindu. TPT procedūra leidžia pasirinkti tokį analizės langą, kuriame tam tikrų įvykių sukeltų SĮSP topografijos yra pastovios (o kartu ir pastovūs jas sukeliantys šaltiniai), lyginant pakartotinius bandymus (Koenig ir Melie-García 2010). TPT procedūrą išsamiai aprašo Koenig ir Melie-García (2009). Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrime bei PRL tyrime TPT procedūra taikyta atskirai kiekvienai sąlygai.

2.5.2. Mikrobūsenų segmentavimas ir analizė

Mikrobūsenų segmentavimui ir analizei atlikti buvo naudota RAGU programa. Pirmiausiai buvo nustatyti pirminiai mikrobūsenų žemėlapiai, tada apskaičiuotas optimalus žemėlapių skaičius ir vėliau atlikta mikrobūsenų savybių analizė (Koenig ir Melie-García, 2010; Koenig et al., 2014). Mikrobūsenų pirminiams žemėlapiams EEG duomenyse nustatyti buvo taikytas vadinamasis AAHC (angl. *atomize and agglomerate hierarchical clustering*) algoritmas, kuris kiekvienu laiko momentu suskirsto EEG duomenis į topografinius žemėlapius, paskui skirtingose sąlygose ir grupėse nustatytus žemėlapius grupuoja pagal jų topografijų panašumą ir po daugelio pakartojimų sukuria

topografijų klases (pirminių žemėlapių vidurkius atitinkančius žemėlapius) (Murray et al., 2008). Pirminis žemėlapis gali būti priskirtas tik vienai žemėlapių klasei. Kai visi žemėlapiai priskiriami tam tikroms žemėlapių klasėms, tada yra apskaičiuojami kiekvienos klasės mikrobūsenų žemėlapių vidurkiai.

Šios klasės apskaičiuojamos remiantis SĮSP vidurkiais (angl. *grand averages*), atskirai kiekvienoje sąlygoje. Optimalus klasių skaičius nustatomas, kai pasitelkta kryžminio įvertinimo (angl. *crossvalidation*) funkcija pasiekia įsotinimo tašką (Koenig et al., 2014).

Kryžminio įvertinimo procedūrą išsamiai aprašo Koenig et al. (2014): Reikia dviejų mikrobūsenų rinkinių – mokymosi ir testavimo. Mokymosi rinkinį sudaro dalis realių SĮSP vidurkių. Procedūra naudoja mokymosi rinkinį apskaičiuoti mikrobūsenų žemėlapių kiekiui, tada gautieji žemėlapiai pritaikomi likusiai duomenų daliai (testavimo rinkiniui). Šie etapai kartojami daug kartų su atsitiktine tvarka sudarytais duomenų rinkiniais. Optimalus mikrobūsenų skaičius nustatomas tada, kai pasiekama maksimali koreliacija. Tada visas duomenų rinkinys naudojamas nustatyti galutiniams mikrobūsenų žemėlapiams (Koenig et al., 2014).

2.4 lentelė. Dviejų tyrimų mikrobūsenų analizėje naudotos sąlygos ir faktoriai. LL – kairė lateralinė (*left lateral*), ML – kairė medialinė (*left medial*), MR – dešinė medialinė (*right medial*), RR – dešinė lateralinė (*right lateral*).

	Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas	PRL užduotis
Sąlygos	Kampas „taikiny“ Kampas „netaikiny“ Spalva „taikiny“ Spalva „netaikiny“	LL ML MR RR
Analizuotos mikrobūsenų savybės	Pradžia Trukmė Stiprumas	Pradžia Stiprumas
Nepriklausomi veiksniai	„Užduotis“ (Kampas, Spalva) „Dirgiklis“ („taikiny“, „netaikiny“)	„Pusrutulius“ (Kairė, Dešinė) „Lateralizacija“ (Lateralinė, Medialinė)

SĮSP vidurkiai buvo naudojami mikrobūsenoms nustatyti. Mikrobūsenų dinamikos patikimumui apskaičiuoti naudotas atsitiktinių bandymų (angl. *randomization*) testas su 1000 pakartojimų (Koenig et al., 2014). Atsitiktinių bandymų procedūra lygina skirtumus tarp realių duomenų ir atsitiktine tvarka sudarytų duomenų rinkinių (atitinka nulinę hipotezę, kuri teigia, kad skirtumai yra atsitiktiniai). *p* vertės

atitinka tikimybę, kai skirtumai tarp atsitiktinių duomenų rinkinių yra didesni nei tarp realių duomenų rinkinių (Koenig ir Melie-García, 2010; Koenig et al., 2014).

Mikrobūsenų pradžia, trukmė (išskyrus PRL tyrimą) ir stiprumas (arba amplitudė) (angl. *the area under the curve*) buvo matuojami atskirai kiekvienoje sąlygoje ir analizuojami taikant mikrobūsenų analizės metodą. Minėtos mikrobūsenų savybės buvo lyginamos tarp sąlygų pagal du nepriklausomus kintamuosius. Dviejuose tyrimuose analizuotų sąlygų pavadinimai, mikrobūsenų savybės ir nepriklausomi mikrobūsenų analizės kintamieji pateikti **2.4** lentelėje.

3. Rezultatai

3.1. Elgseninių tyrimų rezultatai

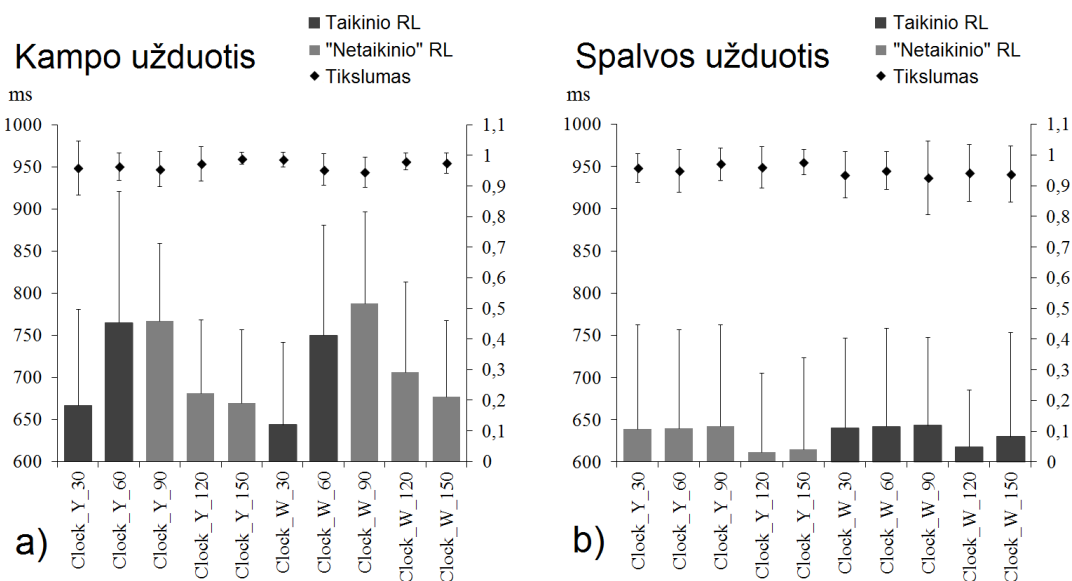
3.1.1. Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas

Kiekvieno tiriamojo užduoties atlikimo tikslumas ir vidutiniai teisingų bandymų RL buvo paskaičiuoti atskirai kiekvienai sąlygai. RL vidutinės vertės, tikslumas ir standartiniai nuokrypiai (SN) pateikti **3.1** lentelėje. Teisingai atsakytų bandymų RL kintamumui ir tikslumo kintamumui nustatyti buvo atlikta 2 x 2 pakartotinių matavimų ANOVA analizė su pasirinktais „Užduoties“ (Kampas arba Spalva) ir „Dirgiklio“ („taikiny“ arba „netaikiny“) veiksniais. Nagrinėjant RL pastebėtas patikimas „Užduoties“ efektas [$F(1, 21) = 100.533, p < 0.0001$], parodantis, kad *Spalvos* užduotyje RL buvo patikimai trumpesni nei *Kampo* užduotyje (**3.1** lentelė). Nebuvo pastebėta nei patikimo „Dirgiklio“ veiksnio efekto, nei veiksmų sąveikos. ANOVA tikslumo analizė atskleidė patikimą „Užduoties“ efektą [$F(1, 21) = 7.477, p < 0.012$] ir „Užduoties“ bei „Dirgiklio“ veiksmų sąveikos tendenciją [$F(1, 21) = 4.042, p < 0.057$]. Tikslumas buvo patikimai didesnis *Kampo* užduotyje, palyginti su *Spalvos* užduotimi (**3.1** lentelė). Sąveikos tendenciją galima būtų paaiškinti mažesniu tikslumu *Spalvos* „taikinio“ sąlygoje palyginti su likusiomis sąlygomis. Reikia paminėti, kad skirtumas tarp *Spalvos* „taikinio“ (93.9 %) ir kitų užduočių (> 96.4 %) atlikimo tikslumo buvo tik apie 2.5 – 3 %.

3.1 lentelė. Kiekvienos sąlygos užduoties atlikimo tikslumas, RL vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai (SN).

	RL (ms)	SN	Tikslumas	SN
Kampas „taikiny“	706.25	120.05	0.966	0.037
Kampas „netaikiny“	714.72	85.35	0.971	0.023
Kampas vidurkis	710.49	102.70	0.968	0.030
Spalva „taikiny“	634.80	94.85	0.939	0.065
Spalva „netaikiny“	629.50	107.13	0.964	0.037
Spalva vidurkis	632.15	100.99	0.9511	0.051

RL vidurkiai ir tikslumas, atskirai dirgikliams su skirtingo dydžio kampais, pavaizduoti **3.1** paveiksle.



3.1 paveikslas. Tikslumas, RL į skirtingus dirgiklius vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai **a)** Kampo užduotyje ir **b)** Spalvos užduotyje. Y – geltonos (angl. *yellow*) laikrodžio rodyklės, W – baltos (angl. *white*) laikrodžio rodyklės; skaičiai žymi kampo dydį. Skirtingos histogramos stulpelių spalvos žymi RL į „taikinius“ ir „netaikinius“ (spalvų reikšmės nurodytos legendoje).

3.1.2. PRL užduotis

Tikslumas, RL vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai (SN) kiekvienoje sąlygoje pateikti 3.2 lentelėje. Visi mygtuko paspaudimai įvyko 150–1000 ms po dirgiklio pateikimo, todėl riktų nebuvo.

3.2 lentelė. Kiekvienos eksperimentinės sąlygos tikslumas, vidutiniai RL ir standartinis nuokrypis (SN).

	Reakcijos laikas (ms)		Tikslumas	
	Vidurkis	SN	Vidurkis	SN
LL	449.87	45.88	0.980	0.024
ML	470.37	58.09	0.975	0.027
MR	457.26	56.28	0.970	0.028
RR	435.31	48.67	0.985	0.016

2 x 2 pakartotinių matavimų ANOVA analizė su pasirinktais „Pusrutulio“ (kairysis, dešinysis) ir „Lateralizacijos“ (lateralinė, medialinė) veiksniais buvo taikyta elgseniniais duomenimis. Analizuojant tikslumą buvo nustatytas patikimas veiksnio „Lateralizacija“ efektas [$F(1, 27) = 6.132, p < 0.02$], rodantis, kad tikslumas buvo patikimai didesnis lateralinėse sąlygose (LL ir RR), palyginti su medialinėmis (ML ir MR). „Pusrutulio“ veiksnio efektas nebuvo nustatytas [$F(1, 27) = 0.009, p < 0.93$],

„Pusrutulio“ ir „Lateralizacijos“ veiksmų sąveika taip pat buvo nepatikima [$F(1, 27) = 2.600, p < 0.12$].

Analizuojant teisingai atsakytų bandymų RL buvo nustatytas patikimas veiksmo „Pusrutulis“ efektas [$F(1, 27) = 7.575, p < 0.01$], rodantis, kad RL buvo patikimai ilgesni kairiojo regos lauko (dešiniojo pusrutulio) stimuliacijos metu (LL ir MR), palyginti su RL į dešiniojo regos lauko (kairiojo pusrutulio) stimuliacija (MR ir RR). Taip pat pastebėtas patikimas veiksmo „Lateralizacija“ efektas [$F(1, 27) = 12.871, p < 0.001$], rodantis, kad RL buvo patikimai ilgesni medialinėse sąlygose (ML ir MR), palyginti su lateralinėmis (LL ir RR). Dviejų veiksmų sąveika buvo nepatikima [$F(1, 27) = 0.042, p < 0.839$].

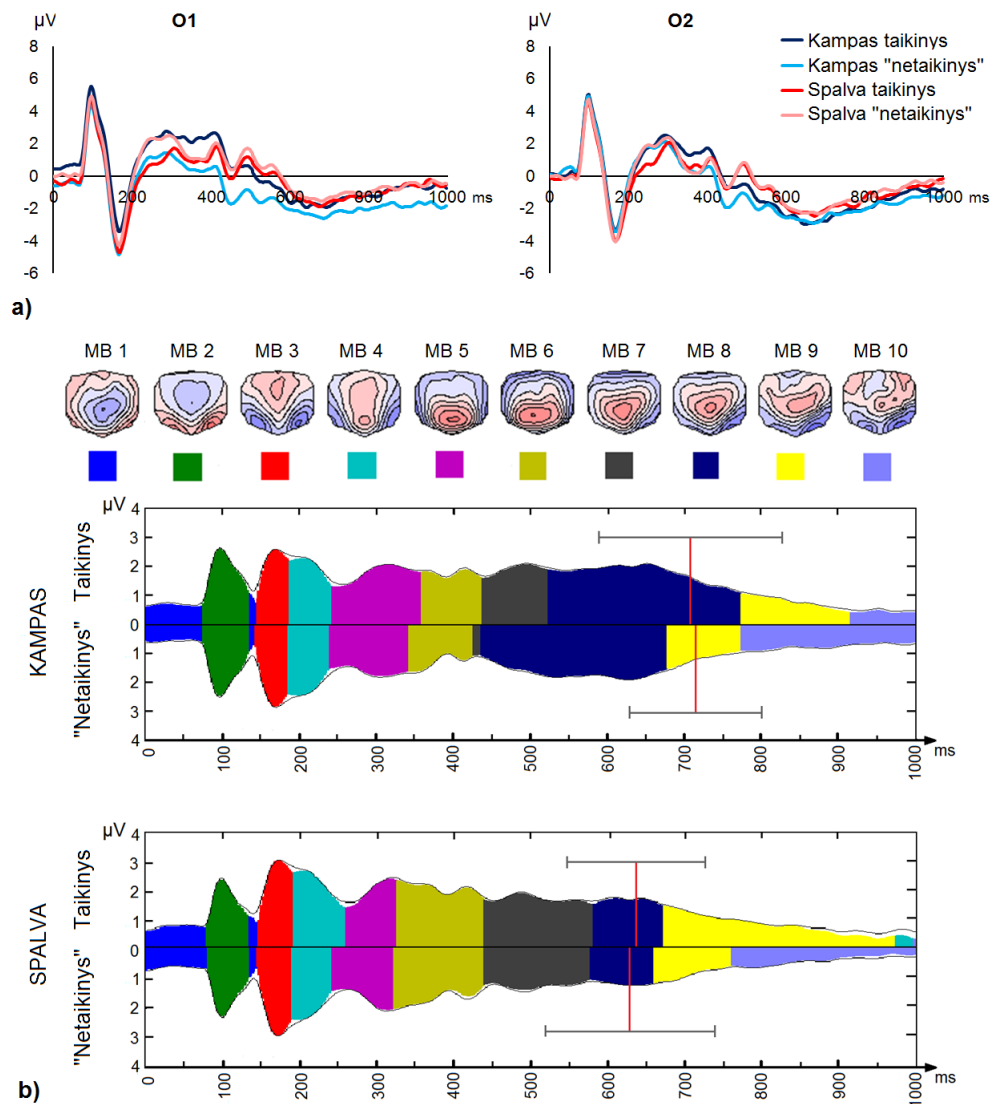
3.2. SĮSP rezultatai

3.2.1. Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas

Taikant kryžminio įvertinimo procedūrą buvo nustatytas optimalus mikrobūsenų skaičius – 10 mikrobūsenų. Jų topografijos ir trukmės pavaizduotos **3.2b** paveiksle. Palyginimui **3.2a** paveiksle pavaizduotos O1 ir O2 elektrodų SĮSP bangos.

Visų keturių sąlygų MB klasių 1–3 pradžios buvo panašios. Pirmieji skirtumai tarp *Kampo* ir *Spalvos* užduočių pastebėti pasirodžius MB 2 ir tęsėsi iki analizės lango pabaigos (MB 10). MB klasės 2–10 *Kampo* ir *Spalvos* užduotyse skyrėsi savo pradžia, trukme ir aktyvumu (stiprumu). Skirtumai tarp „taikinių“ ir „netaikinių“ buvo pastebėti MB 5–10 intervale ir buvo labiau pastebimi *Kampo* užduotyje (žiūrėti **3.2b** paveiksle).

Remiantis nustatytų mikrobūsenų klasių latencijomis bei topografijomis, jos buvo priskirtos tam tikriems informacijos apdorojimo etapams bei SĮSP (žiūrėti **3.2a** ir **3.2b** paveiksluose). Pirmoji MB klasė (MB 1) atstovavo bazinę būseną, kai dirgiklis dar nesužadino regos žievės, o taip pat perėjimo laikotarpį. Kitos trys MB klasės (MB 2–4) atstovavo ankstyvąją regimąją sensorinę informacijos apdorojimą. MB 2 latencija ir topografija atitiko P1 komponento latenciją ir topografiją. MB 3 ir MB 4 latencija ir topografija buvo panašios į N1 komponento. MB klasės 5–8 pagal topografiją galima būtų priskirti P3 komponentui, nors latencija buvo pailgėjusi (pvz., MB 8). MB 10 pasirodė po atsakymo pateikimo. Statistinei analizei pasirinktos MB klasės 2–9.



3.2 paveikslas. a) O1 ir O2 elektrodų SĖSP bangos, vaizduojančios keturių skirtingų stimuliacijų sukeltus SĖSP. b) MB analizės rezultatai. Skirtingos spalvos žymi skirtingų MB klasių pasirodymo laiką, o šių plotų aukštis atitinka stiprumą. Juoda kreivė, atkartojanti spalvotų plotų formą, nurodo galią (angl. GFP). Raudonos vertikalios linijos žymi RL vidurkius kiekvienoje sąlygoje. Pilkos horizontalios linijos, statmenai besiremiančios į raudonas vertikalias linijas, nurodo standartinius nuokrypius nuo RL vidurkio ($N = 22$).

MB klasių 2–9 pradžios, trukmės ir stiprumo vertės pateiktos 3.3 lentelėje. Statistiškai patikimi skirtumai tarp MB klasių pastebėti nuo ~80 ms iki 970 ms. Pagrindiniai pradžios, trukmės ir stiprumo rezultatai aprašyti tekste. Visi bendrosios analizės ir tolesnių (*post-hoc*) analizių rezultatai (p vertės) pateikti 3.4 lentelėje.

Patikimas „Dirgiklio“ veiksnio efektas pastebėtas MB 5 ($p = 0.007$), MB 7 ($p = 0.02$) ir MB 9 ($p = 0.01$) pradžiai: „netaikiniams“ pradžia buvo ankstesnė nei „taikiniams“. Patikimas „Dirgiklio“ veiksnio efektas pastebėtas MB 7 stiprumui ($p = 0.003$). Šis efektas parodė, kad aktyvacija buvo patikimai stipresnė reaguojant į „taikinius“, palyginti su „netaikiniaisiais“. Taip pat patikimas „Dirgiklio“ veiksnio efektas

pastebėtas MB 9 trukmei ($p = 0.04$): trukmė buvo patikimai ilgesnė „taikiniams“ nei „netaikiniams“ (3.3 ir 3.4 lentelės).

3.3 lentelė. MB klasių 2–9 pradžios, trukmės ir stiprumo vertės (analizės lango dydis 0 – 1000 ms).

MB klasė	Sąlygos			
	Kampas „taikiny“	Kampas „netaikiny“	Spalva „taikiny“	Spalva „netaikiny“
MB 2				
Pradžia (ms)	76	76	78	80
Trukmė (ms)	60	60	54	54
Stiprumas (ms* μ V)	112.2	105.4	91.8	94.3
MB 3				
Pradžia (ms)	148	146	146	144
Trukmė (ms)	42	42	46	46
Stiprumas (ms* μ V)	90.3	96.1	113.8	110.2
MB 4				
Pradžia (ms)	190	188	192	190
Trukmė (ms)	54	52	92	52
Stiprumas (ms* μ V)	108.8	115.6	155.5	113.9
MB 5				
Pradžia (ms)	244	240	260	242
Trukmė (ms)	116	104	66	80
Stiprumas (ms* μ V)	201.7	167.9	127.7	138.0
MB 6				
Pradžia (ms)	360	344	326	322
Trukmė (ms)	80	84	112	116
Stiprumas (ms* μ V)	139.2	108.1	226.3	200.8
MB 7				
Pradžia (ms)	440	428	438	438
Trukmė (ms)	84	10	142	138
Stiprumas (ms* μ V)	158.6	10.6	232.3	178.7
MB 8				
Pradžia (ms)	524	438	580	576
Trukmė (ms)	250	240	92	84
Stiprumas (ms* μ V)	434.7	401.9	146.3	102.4
MB 9				
Pradžia (ms)	774	678	672	660
Trukmė (ms)	142	96	300	100
Stiprumas (ms* μ V)	105.6	112.7	222.7	91.5

„Užduoties“ efektas parodė, kad MB klasės 2, 5 ir 8 buvo labiau išreikštos *Kampo* užduotyje, o MB klasės 3, 6 ir 7 buvo labiau išreikštos *Spalvos* užduotyje: MB klasės 5–8 skyrėsi trukme ir stiprumu, MB klasės 6, 8 ir 9 skyrėsi pradžia. MB 5 trukmė buvo patikimai ilgesnė, o stiprumas didesnis *Kampo* užduotyje. MB 6 pradžia buvo patikimai ankstesnė *Spalvos* užduotyje. MB 6 ir MB 7 išsiskyrė ilgesne trukme ir aukštesne amplitude (stiprumu) *Spalvos* užduotyje. MB 8 pasižymėjo ankstesne pradžia, ilgesne trukme ir didesniu stiprumu *Kampo* užduotyje. MB 9 pradžia buvo patikimai ankstesnė *Spalvos* užduotyje, palyginti su *Kampo* užduotimi (3.3 ir 3.4 lentelės).

3.4 lentelė. MB klasių 2–9 pradžios, trukmės ir stiprumo bendrosios analizės ir tolesnės (*post-hoc*) analizės *p* vertės (analizės lango dydis 0 – 1000 ms). Patikimos *p* vertės parašytos pastorintu šriftu, joms ir beveik patikimoms tendencijoms nurodyti verčių skirtumai (>). Kairiojoje lentelės dalyje pateikiami du pagrindiniai efektai ir sąveika, dešiniojoje – tolesnių analizių rezultatai.

K – kampas, S – spalva, T – „taikiny“, NT – „netaikiny“.

MB klase	Savybės	Bendroji analizė			Post-hoc analizė	
		Užduotis	Dirgiklis	Sąveika	Kampas	Spalva
MB 2	Pradžia	0.59	0.6	0.97	1	0.48
	Trukmė	0.03 (K > S)	0.69	0.15	1	1
	Stiprumas	0.004 (K > S)	0.56	0.14	0.66	0.69
MB 3	Pradžia	1	1	0.28	0.66	0.57
	Trukmė	0.57	0.59	0.09	1	1
	Stiprumas	0.0001 (S > K)	0.98	0.035	0.55	0.64
MB 4	Pradžia	0.58	0.6	0.22	0.82	0.63
	Trukmė	0.41	0.053 (T > NT)	0.02	0.54	0.19
	Stiprumas	0.27	0.36	0.029	0.78	0.03 (T > NT)
MB 5	Pradžia	0.18	0.007 (T > NT)	0.0001	0.54	0.007 (T > NT)
	Trukmė	0.0001 (K > S)	1	0.004	0.26	0.27
	Stiprumas	0.008 (K > S)	0.54	0.24	0.22	0.79
MB 6	Pradžia	0.0001 (K > S)	0.32	0.15	0.17	0.82
	Trukmė	0.0001 (S > K)	0.73	0.021	0.8	0.76
	Stiprumas	0.0001 (S > K)	0.17	0.0001	0.145	0.17
MB 7	Pradžia	0.217	0.019 (T > NT)	0.002	0.008 (T > NT)	1
	Trukmė	0.0001 (S > K)	0.28	0.0001	0.006 (T > NT)	0.7
	Stiprumas	0.017 (S > K)	0.03 (T > NT)	0.0001	0.0001 (T > NT)	0.006 (T > NT)
MB 8	Pradžia	0.0001 (S > K)	0.2	0.002	0.0001 (T > NT)	0.7
	Trukmė	0.0001 (K > S)	0.87	0.014	0.87	0.46
	Stiprumas	0.0001 (K > S)	0.62	0.02	0.79	0.05 (T > NT)
MB 9	Pradžia	0.015 (K > S)	0.012 (T > NT)	0.47	0.008	0.19
	Trukmė	0.75	0.043 (T > NT)	0.014	0.23	0.03 (T > NT)
	Stiprumas	0.95	0.15	0.08	0.87	0.047 (T > NT)

Statistiškai patikimos „Užduoties“ x „Dirgiklio“ sąveikos pastebėtos: pradžiai (MB 5, $p = 0.0001$; MB 7, $p = 0.002$; MB 8, $p = 0.002$); trukmei (MB 4, $p = 0.02$; MB 5, $p = 0.004$; MB 6, $p = 0.002$; MB 7, $p = 0.0001$; MB 8, $p = 0.01$; MB 9, $p = 0.01$); stiprumui (MB 3, $p = 0.0001$; MB 4, $p = 0.03$; MB 6, $p = 0.0001$; MB 7, $p = 0.0001$; MB 8, $p = 0.02$). *Spalvos* „taikinio“ sąlygoje MB 3 pasižymėjo stipresniu aktyvumu; MB 4 trukmė buvo ilgesnė, o aktyvumas didesnis; MB 5 pradžia buvo vėlesnė, o trukmė trumpesnė; MB 6 trukmė buvo ilgesnė, o aktyvumas stipresnis. Be to, MB 6 aktyvumas buvo mažesnis *Kampo* „netaikinio“ sąlygoje. MB 7 pradžia buvo ankstesnė *Kampo* „netaikinio“ ir vėlesnė *Kampo* „taikinio“ sąlygoje, bet *Spalvos* užduotyje pradžios skirtumų nebuvo. Be to, MB 7 pasižymėjo trumpiausia trukme ir mažiausiu aktyvumu *Kampo* „netaikinio“ ir ilgiausia trukme bei didžiausiu aktyvumu *Spalvos* „taikinio“ sąlygoje. MB 8 pradžia buvo ankstesnė *Kampo* „taikinio“ ir vėlesnė *Kampo* „netaikinio“ sąlygoje. Taip pat MB 8 trukmė buvo ilgiausia ir stiprumas didžiausias *Kampo* „taikinio“ sąlygoje, o *Spalvos* „netaikinio“ sąlygoje požymiai buvo priešingi.

MB 9 pasižymėjo ypač ilga trukme *Spalvos* „taikinio“ sąlygoje. Visų analizių rezultatai pateikti **3.4** lentelėje.

3.2.2. PRL užduotis

Taikant kryžminio įvertinimo procedūrą buvo nustatytas optimalus mikrobūsenų skaičius – 7 mikrobūsenos. Siekiant pašalinti iš analizės laikotarpius iki lateralizuotų SĮSP komponentų pasirodymo, analizės lango pradžia pasirinkta 100 ms po dirgiklio pateikimo (naujojo analizės lango dydis – 100–1000 ms).

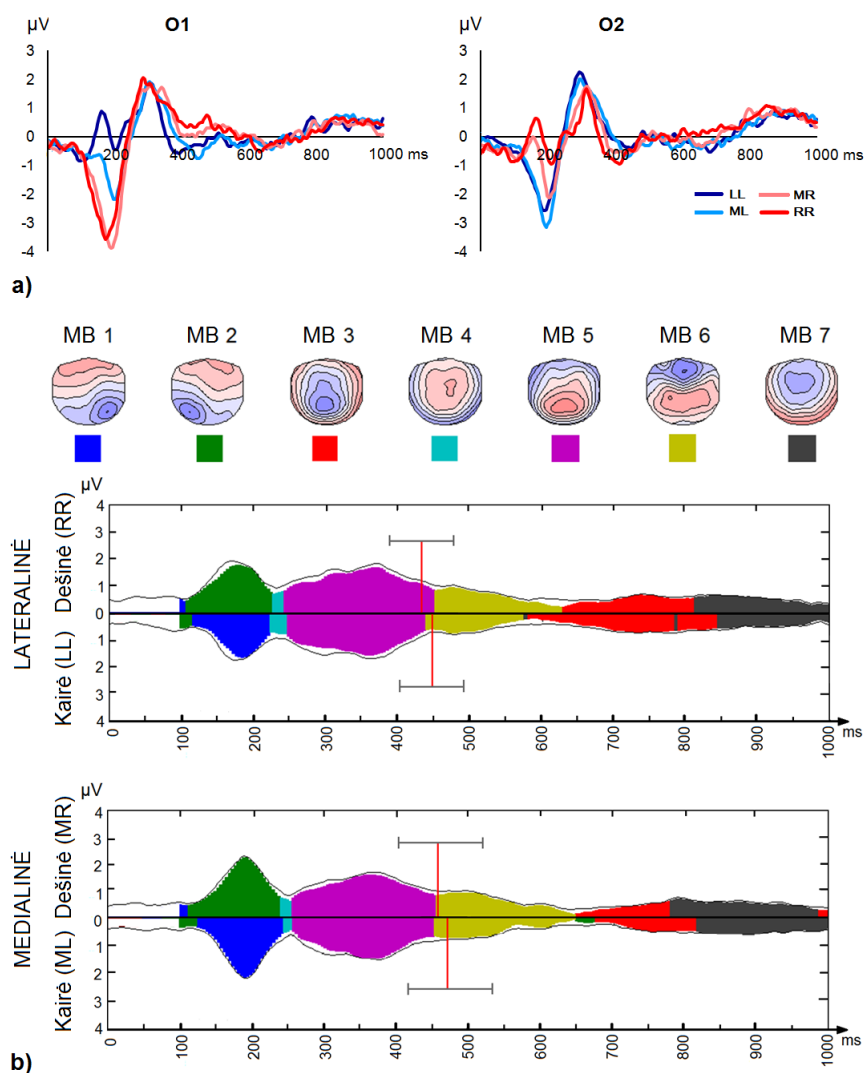
Mikrobūsenų topografijos ir trukmės pavaizduotos **3.3b** paveiksle. Kairiojo regos lauko stimuliacija (ML ir LL) sukėlė MB 1 dešiniajame pusrutulyje, o dešiniojo regos lauko stimuliacija (MR ir RR) atitinkamai sukėlė MB 2 kairiajame pusrutulyje. Pagal savo latenciją ir topografiją (pakaušinis neigiamumas (angl. *negativity*) priešingoje stimuliacijai pusėje) MB 1 ir MB 2 atitiko lateralizuotą N1 potencialą **3.3a**. Palyginimui **3.3a** paveiksle pavaizduotos O1 ir O2 elektrodo SĮSP bangos, kuriose matomas lateralizuotas N1 komponentas. MB 5 savo latencija ir topografija atitiko P3 potencialą. MB 3 aptikta po MB 6. MB 4 truko trumpai ir atitiko pereinamuosius periodus. MB 6 pasirodė tik po atsakymo pateikimo, o MB 7 buvo aptikta analizės lango pabaigoje (**3.3b** paveikslas).

Ankstyvosios lateralizuotos mikrobūsenos (112–248 ms). Ankstyvuojau laikotarpiu atlikta statistinė mikrobūsenų analizė patvirtino, kad MB 1 ir MB 2 yra lateralizuotos. MB 1 ir MB 2 buvo analizuojamos 112–248 ms analizės lange, atitinkančiame jų aktyvumo priešingame stimuliacijai pusrutulyje trukmę. MB analizės rezultatai pateikti **3.4** paveiksle ir **3.5** lentelėje.

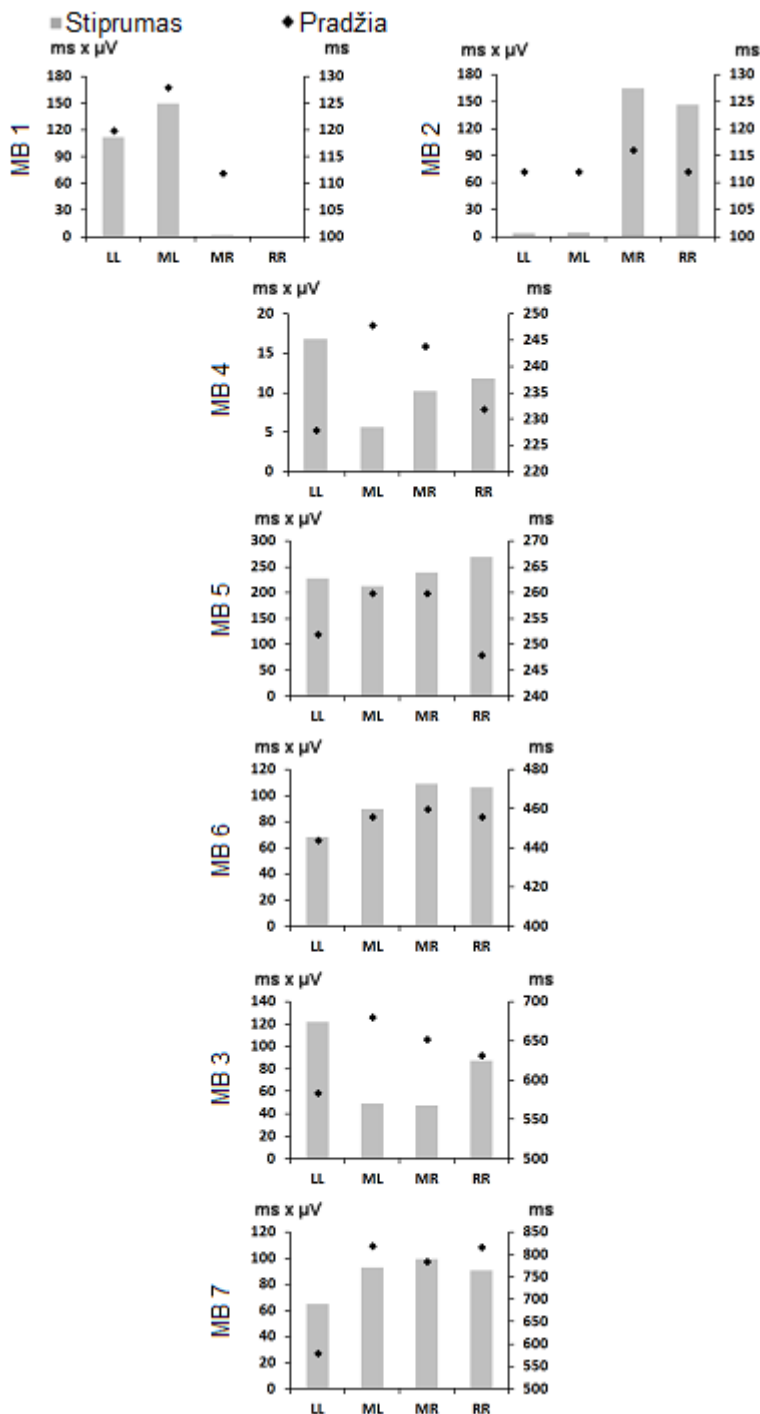
MB 1 ir MB 2. Bendroji analizė atskleidė patikimą „Pusrutulio“ veiksnio efektą: Dešiniojo regos lauko stimuliacija stipriau sužadino kairįjį pusrutulį (stiprumas: MB 2, $p = 0.0001$), o kairiojo regos lauko stimuliacija stipriau sužadino dešinįjį pusrutulį (stiprumas: MB 1, $p = 0.0001$). Šios dvi mikrobūsenų klasės buvo susietos su ankstyvuojau (~110–240 ms) priešingo stimuliacijai pusrutulio aktyvumu. Patikima „Pusrutulio“ ir „Lateralizacijos“ veiksnių sąveika buvo aptikta analizuojant MB 2 (stiprumas, $p = 0.0001$). Tolesnė analizė atskleidė, kad šią sąveiką galėjo lemti tai, jog

stiprumas buvo didesnis po medialinės, palyginti su lateraline stimuliacija kairiajame regos lauke ($p = 0.023$).

Vėlesnės mikrobūsenos (~230–1000 ms). Bendra MB 3–7 analizė buvo atlikta 228–1000 ms analizės lange. Jo pradžia sutapo su anksčiausia MB 4 pradžia. Tekste aprašyti svarbiausi rezultatai: MB 5 ir 6, kiti rezultatai pateikti 3.4 paveiksle ir 3.5 lentelėje.



3.3 paveikslas. a) O1 ir O2 elektrodų S1SP bangos, vaizduojančios kairiosios lateralinės (LL), kairiosios medialinės (ML), dešiosios medialinės (MR) ir dešiosios lateralinės (RR) stimuliacijos sukeltus S1SP. **b)** MB analizės rezultatai. Skirtingos spalvos žymi skirtingų MB klasių pasirodymo laiką, o šių plotų aukštis atitinka stiprumą. Juoda kreivė, atkartojanti spalvotų plotų formą, nurodo galią (angl. GFP). Raudonos vertikalios linijos žymi RL vidurkius kiekvienoje sąlygoje. Pilkos horizontalios linijos, statmenai besiremiančios į raudonas vertikalias linijas, nurodo standartinius nuokrypius nuo RL vidurkio ($N = 28$).



3.4 paveikslas. MB 1, MB 2, MB 4, MB 5, MB 6 ir MB 7 pradžios bei stiprumo vertės kiekvienoje sąlygoje. MB 1 ir MB 2 vertės paimtos iš 112–248 ms analizės lango, kitų MB vertės paimtos iš 100–1000 ms analizės lango. Stimuliacijos pusėje MB 1 pradžia atitinka MB 2 pabaigą ir atvirkščiai. Naujos MB pradžia atitinka prieš tai buvusias MB pabaigą, todėl MB išdėstytos tokia seka, kokia pasirodė: MB 1/2, MB 4, MB 5, MB 6, MB 3 ir MB 7. Kiekvienai MB stiprumo ir pradžios vertės ordinačių ašyse yra skirtingos.

MB 5. MB 5 latencija ir topografija atitiko P3 komponento latenciją ir topografiją. Bendroji analizė parodė, kad pradžia buvo patikimai ankstesnė lateralinėse nei medialinėse sąlygose ($p = 0.0001$). Taip pat pastebėta patikima „Pusrutulio“ ir „Lateralizacijos“ veiksmų sąveika pradžiai ($p = 0.02$). Šią sąveiką galima būtų aiškinti

patikimai ankstesne pradžia esant lateralinei, palyginti su medialine, stimuliacija dešinėje pusėje ($p = 0.01$, skirtumas: 12 ms), tačiau kairėje pusėje skirtumų nebuvo. Bendroji stiprumo analizė parodė patikimą „Pusrutulio“ veiksnio efektą ($p = 0.0001$) dėl aukštesnių amplitudžių esant dešinės pusės stimuliacijoms, palyginti su kairės pusės stimuliacijomis. Patikimas „Lateralizacijos“ veiksnio efektas ($p = 0.04$) parodė, kad lateralinėse sąlygose aktyvumas buvo stipresnis nei medialinėse.

Kiekvienos sąlygos RL vidurkiai buvo artimi MB 5 pabaigai/MB 6 pradžiai: LL – 449.87 ms, ML – 470.37 ms, MR – 457.26 ms, 435.31 ms (**3.3b** paveikslas).

3.5 lentelė. MB klasių 1–7 pradžios ir stiprumo bendrosios analizės ir tolesnės (*post-hoc*) analizės p vertės. MB 1 ir MB 2 analizės lango dydis buvo 112–248 ms, o MB 3–7 analizės lango dydis buvo 228–1000 ms. Kairiojoje lentelės dalyje pateikiami du pagrindiniai efektai ir sąveika, dešiniojoje lentelės dalyje pateikiami tolesnių analizių rezultatai. Žymėjimas „-“ reiškia, kad skirtumo nebuvo galima apskaičiuoti dėl to, kad tam tikra MB tos savybės neturėjo.

Med = medialinė, Lat = lateralinė, K = kairė, D = dešinė, LL – kairė lateralinė, ML – kairė medialinė, MR – dešinė medialinė, RR – dešinė lateralinė.

MB klasė	Statistikos duomenys ($p < 0.05$)						
MB 1	Bendroji			Kairė	Dešinė	Medialiai	Lateraliai
	K-D	Med-Lat	K-D*Med-Lat	LL-ML (ML > LL)	RR-MR	ML-MR (ML > MR)	LL-RR (LL > RR)
Pradžia	-	0.87	-	0.28	-	0.87	-
Stiprumas	0.0001	0.83	0.14	0.0001	0.47	0.0001	0.0001
MB 2	Bendra			Kairė	Dešinė	Medialiai	Lateraliai
	K-D	Med-Lat	K-D*Med-Lat	LL-ML	RR-MR (MR > RR)	ML-MR (MR > ML)	LL-RR (RR > LL)
Pradžia	1	1	0.46	1	0.73	0.33	-
Stiprumas	0.0001	0.57	0.0001	0.72	0.023	0.0001	0.0001
MB 3	Bendra			Kairė	Dešinė	Medialiai	Lateraliai
	K-D	Med-Lat	K-D*Med-Lat	LL-ML	RR-MR	ML-MR	LL-RR
Pradžia	0.047	0.0001	0.03	0.01	0.09	0.35	0.013
Stiprumas	0.21	0.0001	0.0001	0.006	0.06	0.89	0.056
MB 4	Bendra			Kairė	Dešinė	Medialiai	Lateraliai
	K-D	Med-Lat	K-D*Med-Lat	LL-ML	RR-MR	ML-MR	LL-RR
Pradžia	1	0.0001	0.0001	0.01	0.003	0.82	0.66
Stiprumas	0.35	0.18	0.31	0.02	0.68	0.33	0.42
MB 5	Bendra			Kairė	Dešinė	Medialiai	Lateraliai
	K-D	Med-Lat	K-D*Med-Lat	LL-ML	RR-MR	ML-MR	LL-RR
Pradžia	1	0.0001	0.02	0.12	0.01	1	0.87
Stiprumas	0.0001	0.04	0.70	0.35	0.06	0.022	0.02
MB 6	Bendra			Kairė	Dešinė	Medialiai	Lateraliai
	K-D	Med-Lat	K-D*Med-Lat	LL-ML	RR-MR	ML-MR	LL-RR
Pradžia	0.053	0.88	0.055	0.18	0.91	0.96	0.15
Stiprumas	0.0001	0.019	0.005	0.065	0.74	0.11	0.02
MB 7	Bendra			Kairė	Dešinė	Medialiai	Lateraliai
	K-D	Med-Lat	K-D*Med-Lat	LL-ML	RR-MR	ML-MR	LL-RR
Pradžia	0.22	0.0001	0.0001	0.003	0.41	0.26	0.18
Stiprumas	0.25	0.16	0.07	0.22	0.69	0.74	0.18

MB 6. Bendroji analizė atskleidė patikimai stipresnę aktyvaciją po dešiniojo nei kairiojo regos lauko stimuliacijos ($p = 0.0001$). Taip pat aptikta patikima „Pusrutulio“ ir „Lateralizacijos“ veiksmų sąveika stiprumui ($p = 0.005$). Tolesnės analizės parodė, kad šią sąveiką būtų galima aiškinti stipresniu aktyvumu dešiniojoje lateralinėje sąlygoje, palyginti su kairiąja lateraline ($p = 0.02$), nors medialinėse sąlygose skirtumų nebuvo.

4. Aptarimas

Šio darbo tikslas buvo ištirti regimojo erdvinio informacijos apdorojimo laikinę dinamiką, taikant EEG mikrobūsenų metodiką bei naudojant regimojo erdvinio bei neerdvinio vertinimo užduotį, ir PRL užduotį su periferijoje pateikiamais dirgikliais (padėties vertinimo užduotis), ir tokiu būdu patikrinti minėtų užduočių tinkamumą EEG/SĮSP tyrimams. 4-PRL užduotis anksčiau buvo naudota tik DTV tyrimuose (Tuch et al., 2005), o regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo užduotis taikyta tik fMRT tyrimuose (de Graaf et al., 2009, 2010; Sack et al., 2002a, 2007).

4.1. Smegenų tinklų aktyvumas atliekant regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo užduotis

Nustatyta, kad tos pačios mikrobūsenos buvo būdingos regimajam erdviniam ir neerdviniam vertinimui. MB 2 turėjo topografiją su stipresniu aktyvumu dešiniojo pusrutulio pakaušinėse srityse palyginti su kairiojo pusrutulio pakaušinėmis sritimis, ir buvo susieta su P1 komponentu. N1 komponentą atitinkanti mikrobūsena MB 3 pasižymėjo abipusiu virš pakaušinių sričių išplitusiu neigiamumu, stipresniu dešiniajame pusrutulyje. Vėlesnės mikrobūsenos (po 400 ms) pasižymėjo virš momeninių ir pakaušinių sričių plačiai pasklidusiu teigiamumu (angl. *positivity*) ir stipresniais gradientais virš dešiniojo pusrutulio momeninės žievės.

Minėti rezultatai sutampa su ankstesniais pastebėjimais, kad tie patys žieviniai tinklai buvo aktyvūs tiek atliekant regimojo erdvinio vertinimo, tiek neerdvinio vertinimo užduotis, bet šis aktyvumas skyrėsi stiprumu (de Graaf et al., 2010).

fMRT signalo stiprumo skirtumai gali atsirasti dėl skirtingo sužadintų neuronų skaičiaus ir/arba dėl aktyvumo trukmės skirtumų. Jei signalo skirtumai atsirastų dėl tuo pačiu metu sužadinto didelio neuronų skaičiaus, tai padidintų mikrobūsenos galią ir reikštų didesnę efektyvumą. Jei signalo skirtumai atsirastų dėl tam tikrų smegenų sričių ilgesnės aktyvumo trukmės, tai paveiktų atitinkamos mikrobūsenos trukmę, ir reikštų tam tikro informacijos apdorojimo etapo apsunkinimą.

Apibendrinus galima būtų pasakyti, kad regimosios informacijos suvokimo etapai yra panašūs ir tik keletas specifinių ar jautrių tam tikrai užduočiai etapų gali būti

paveikiami. Mikrobūsenų analizės metodas yra labai veiksmingas siekiant nustatyti ir analizuoti tam tikrų etapų pradžios, trukmės ar stiprumo pasikeitimus. EEG mikrobūsenų analizė leido aptikti laikinės regimosios erdvinės informacijos apdorojimo dinamikos skirtumus to paties tinklo viduje: P1–MB 2 aktyvumas buvo didesnis regimojo erdvinio vertinimo (Kampo) užduotyje, palyginti su neerdviniu vertinimu, o N1–MB 3 buvo priešingų savybių. Su P3 komponentu susijusios mikrobūsenos 5 ir 8 ilgiau truko ir buvo aukštesnės amplitudės, ir MB 8 pradžia buvo ankstesnė regimojo erdvinio vertinimo užduotyje. Kitos dvi su P3 susijusios mikrobūsenų klasės – MB 6 ir MB 7 – turėjo priešingas savybes: jų MB 6 ir MB 7 trukmė buvo ilgesnė, aktyvumas didesnis, o MB 6 pradžia ankstesnė spalvos vertinimo užduotyje. RL buvo ilgesni regimojo erdvinio vertinimo užduotyje, palyginti su neerdvinio vertinimo užduotimi. Šie rezultatai leidžia susieti smegenų tinklų aktyvumą, SĮSP ir RL.

4.2. Regimojo erdvinio vertinimo ir neerdvinio vertinimo reakcijos laikai

Elgseninių duomenų analizė (patikimas „Užduoties“ veiksnio efektas) parodė, kad spalvos vertinimo užduotyje RL buvo trumpesni nei tada, kai buvo vertinami kampai. Ankstesniuose tyrimuose, naudojant tą pačią regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo užduotį, buvo rasti panašūs skirtumai (de Graaf et al., 2009, 2010; Sack et al., 2007).

Kadangi ankstesnių tyrimų autoriai (de Graaf et al., 2009, 2010; Sack et al., 2002a, 2007) neanalizavo RL atskirai kiekvieno dydžio kampui, elgseninių tyrimų rezultatų negalima palyginti su ankstesnių tyrimų, naudojusią tą pačią užduotį, rezultatais.

4.3. Regimojo erdvinio vertinimo ir neerdvinio vertinimo sukelti komponentai

Anksčiau vykdytų fMRT tyrimų metu buvo nustatytos regimajame erdviniame ir neerdviniame vertinime dalyvaujančios smegenų sritys ir tinklai (de Graaf et al., 2009, 2010; Sack et al., 2002a, 2007).

Siekiant nustatyti šių tinklų aktyvumo laikinę dinamiką, regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimas buvo atliktas taikant EEG bei mikrobūsenų analizės metodą. Mikrobūsenų analizė leido palyginti smegenų žievės aktyvumo dinamikos skirtumus tarp dviejų užduočių: regimojo erdvinio vertinimo ir spalvos vertinimo. Pirmieji skirtumai buvo pastebėti pradedant MB 2 pradžia (~75 ms), ši mikrobūseną atitiko P1 komponentę su stipresniu aktyvumu *Kampo* užduotyje. Kadangi abiejose užduotyse naudojami dirgikliai buvo identiški, aktyvumo skirtumus sukelti galėjo tik erdvinio dėmesio poveikis, padidinęs P1 amplitudę sunkesnėje užduotyje (Fu et al., 2010). Pastebimų skirtumų atsirado nuo ~188 ms, kartu su MB 4 pradžia. Taigi, smegenų tinklų veiklos pasikeitimų atsiranda vėlyvajame N1 lange (Hillyard ir Kutas, 1983), nors tie patys tinklai yra aktyvūs visose sąlygose.

Mikrobūsenų pasirodymo seka buvo tokia pati esant skirtingoms sąlygoms. Tai gali reikšti, kad informacijos apdorojimo etapai yra tie patys, nepriklausomai nuo užduoties (erdvinės ar neerdvinės).

Dviejų vertinimo užduočių mikrobūsenų topografijos gali skirtis tik savo pradžia, o skirtumai tarp trukmės ir stiprumo būna dar didesni. Pirmosios keturios mikrobūsenų klasės (MB 1–4) buvo panašios savo trukme visose eksperimentinėse sąlygose. Šį panašumą galima vertinti kaip didelį ankstyvųjų sensorinės informacijos apdorojimo etapų pastovumą. Ankstyvųjų mikrobūsenų klasės (MB 2–4) atspindėjo ankstyvąjį sensorinį apdorojimą: MB 2 pagal savo latenciją ir topografiją buvo panaši į P1, o MB 3–4 pagal latenciją ir topografiją atitiko N1 potencialą. Ankstyvuosius sensorinius komponentus sukelia dirgiklio pasirodymas, poveikį jiems daro skirtingos regimojo dirgiklio savybės (Butler et al., 2007; Foxe et al., 2001; Oka et al., 2001; Schechter et al., 2005) bei selektyvus dėmesys (Gomez Gonzalez et al., 1994; Hillyard ir Anllo-Vento, 1998; Mangun and Hillyard, 1991). Buvo pastebėta, kad P1–MB 2 trukmė buvo ilgesnė, o aktyvumas didesnis *Kampo* užduotyje. Abiejose užduotyse naudoti identiški dirgikliai, todėl aktyvumo skirtumų galėjo atsirasti tik dėl dėmesio poveikio: kampo vertinimas reikalavo daugiau dėmesio išteklių ir todėl padidino P1 amplitudę (Fu et al., 2010).

Nors pirmieji skirtumai tarp dviejų vertinimo užduočių atsirado apie ~80 ms po dirgiklio pateikimo, vykdytame tyrime labiau domino vėlesni kognityviniai komponentai. Be to, MB klasėse 5–8 buvo nustatyta daugiau patikimų skirtumų tarp sąlygų. Kognityvinių komponentų (MB 5–8) sekos skirtumus tarp užduočių lėmė

santykiniai pasislinkimai: MB 5 ir MB 8 aktyvumas buvo didesnis *Kampo* užduotyje, o MB 6 ir MB 7 aktyvumas buvo labiau pastebimas *Spalvos* užduotyje. Įdomu tai, kad MB 6 pabaiga visose sąlygose buvo maždaug tuo pačiu metu (~435 ms), todėl RL skirtumų negalima paaiškinti santykiniais, su užduotimi susijusių komponentų, pokyčiais ankstyvajame laiko lange. Skirtumai labiau pastebimi vėlesniame laiko lange: MB 8 dominuoja kaip vėlyvasis kognityvinis komponentas *Kampo* užduotyje ir šios mikrobūsenos trukmė yra gerokai pailgėjusi ir galimai pailgina RL *Kampo* sąlygose. *Spalvos* užduotyje MB 8 aktyvumas stebimas laiko intervale, kai vyko mygtuko paspaudimai.

Apibendrinus gautus rezultatus galima teigti, kad tam tikri smegenų tinklai, atstovaujami MB klasių 6 ir 7 buvo svarbesni spalvų informacijai apdoroti, o smegenų tinklai, atstovaujami MB klasių 5 ir 8, buvo svarbesni erdvinei informacijai apdoroti. MB klasėse 5 ir 6 stipriausi gradientai buvo stebimi abipus virš momeninių sričių, bet gradientai virš kaktinių skilčių buvo skirtingose vietose: MB 5 išsiskyrė plačiai išplitusiu kaktiniu neigiamumu, o 6 virš kairiojo pusrutulio turėjo labiau išplitusį teigiamumą. MB 7 truko patikimai trumpiau, o MB 8 trukmė buvo patikimai ilgesnė regimojo erdvinio vertinimo užduotyje. MB klasėse 7 ir 8 stipriausi gradientai buvo stebimi virš dešiniojo pusrutulio momeninės žievės, o silpnesni gradientai buvo virš kaktinių sričių, bet teigiamo ir neigiamo aktyvumų išplitimas truputį skyrėsi. Šie rezultatai galėtų atitikti fMRT rezultatus, kuriuose padidėjęs momeninių ir kaktinių sričių aktyvumas buvo aptiktas atliekant abi užduotis (Sack et al., 2007).

4.4. Reakcijos laikai į lateralizuotus dirgiklius

Kadangi regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimo mikrobūsenų rezultatai parodė stipresnį aktyvumą dešiniajame pusrutulyje, buvo tikimasi, kad 4-PRL užduotis sukels stipresnį lateralizuotą aktyvumą.

4-PRL užduoties rezultatai parodė, kad RL buvo trumpesni į lateraliai pateikiamus dirgiklius nei į pateikiamus medialiai, o dešinės rankos atsakai buvo trumpesni nei kairės rankos atsakai. Prieš tai minėta užduotis naudota DTV tyrime (Tuch et al., 2005). Autoriai pateikė tik individualių RL vidurkius neskirstydami jų pagal ranką,

kuria pateikiamas atsakas, bet jie aptiko neigiamų koreliacijų tarp RL ir baltosios medžiagos savybių dešiniajame pusrutulyje; dėl to tai buvo interpretuota kaip dešiniojo pusrutulio pirmavimo regimosios erdvinės informacijos apdorojimo ir erdvinio dėmesio procesuose patvirtinimas.

Atlikta nemažai paprasto RL ir PRL tyrimų, bet RL ir rankos, kuria pateikiami atsakai, rezultatai yra priešaringi. Pvz., Annett ir Annett (1979) nustatė, kad didžioji tiriamųjų dalis greičiau reagavo į dirgiklius kairėje regos lauko pusėje, ir kairės rankos atsakų RL buvo trumpesni, tačiau tarp šių rezultatų ir rankiškumo jokių koreliacijų nebuvo. Greitesni kairės rankos atsakai buvo aprašyti ir naujesniame PRL tyrime (Barthelemy ir Boulinguez, 2001).

Kituose paprasto RL (Kalyanshetti ir Vastrad, 2013) ir PRL (Steel et al., 2002) tyrimuose buvo nustatyta, kad trumpesni RL būna pateikiant atsakymus dešiniąja ranka. Nors dviejų minėtų grupių užduotys buvo skirtingos, su centre pateikiamais dirgikliais, ir be nuorodų, bet instrukcijos buvo panašios: dalyviams reikėjo reaguoti į vieną dirgiklį kaire ranka, o į kitą – dešine. Dešiniarankiai tiriamieji greičiau atsakymus pateikdavo dešine ranka, ir šis dešinės rankos pranašumas buvo stebimas paprasto RL užduotyse ir nesikeitė kintant dirgiklio modalumui (Kalyanshetti ir Vastrad, 2013). Minėtos užduotys skyrėsi nuo mūsų naudotos PRL užduoties, nes mūsų tyrime dirgikliai buvo pateikti periferijoje, todėl tiesiogiai lyginti rezultatų negalima. Mūsų tyrime visi dalyviai buvo dešiniarankiai, todėl trumpesni dešinės rankos RL sutampa su kitų tyrėjų gautais rezultatais (Kalyanshetti ir Vastrad, 2013; Steel et al., 2002). Nobre et al. (2000) nustatė, kad RL į dešiniajame regos lauke pateikiamus dirgiklius buvo trumpesni nei į pateikiamus kairiajame regos lauke, tačiau skirtingomis rankomis pateikiamų atsakymų RL nesiskyrė.

Posnerio paradigmas su užuominomis (Posner, 1980) taikiusios grupės nustatė greitesnius kairės rankos atsakus: Bestelmeyer ir Carey (2004) naudojo periferijoje pateikiamus regimuosius dirgiklius ir garsines užuominas, nukreipiančias dėmesį į tam tikrą stimuliacijos pusę, o Frecska et al. (2004) taikė sudėtingą užduotį su dviem lateraliai pateikiamais dirgikliais ir dviejų rūšių centre pateikiamomis užuominomis (užuomina apie dirgiklio vietą arba apie ranką, kuria reikia pateikti atsakymą). Greitesnius kairės rankos atsakus galėjo sukelti užuominos, kadangi jos sužadino regimojo erdvinio dėmesio tinklus smegenyse, daugiausia dešiniajame pusrutulyje.

Frecska et al. (2004) interpretavo šiuos rezultatus kaip dešiniojo pusrutulio dominavimą vykdant regimosios erdvinės informacijos apdorojimą. Tačiau minėtų tyrimų rezultatai negali būti tiesiogiai lyginami su mūsų tyrimo rezultatais dėl užuominų naudojimo ir užduočių sudėtingumo.

Gali būti, kad dirgiklių išdėstymas turėjo įtakos RL, nes į lateraliai pateikiamus dirgiklius buvo reaguojama greičiau nei į pateikiamus medialiai.

4.5. Periferijoje pateikiamų dirgiklių sukeltas aktyvumas

4.5.1. Ankstyvieji komponentai (~100–250 ms)

PRL užduotis sukėlė ankstyvąją lateralizuotą smegenų atsaką: MB 1 atitiko N1 potencialą dešiniajame pusrutulyje, o MB 2 atitiko N1 potencialą kairiajame pusrutulyje. Ankstyvasis komponentas P1, paprastai aptinkamas 80–130 ms po dirgiklio pasirodymo (Hillyard ir Kutas, 1983; Johannes et al., 1995), pasižymi aukštesne amplitude priešingoje stimuliacijai pusėje (Mangun ir Hillyard, 1991). Yra žinoma, kad išankstinės nuorodos pasirodymas turi įtakos P1 amplitudei dėl komponento jautrumo selektyviam dėmesiui (Heinze et al., 1990; Hillyard ir Anllo-Vento, 1998; Johannes et al., 1995; Luck et al., 1990), tačiau P1 užregistruojamas tiek sąlygose, kur buvo naudojamos nuorodos, tiek tose sąlygose, kur nuorodų nebuvo (Mangun ir Hillyard, 1991; Störmer et al., 2009). P1 komponentas buvo užregistruotas atliekant PRL užduotį be nuorodų (Ramchurn et al., 2014). P1 komponentas yra jautrus dirgiklių savybėms (Johannes et al., 1995; Michel et al., 1992): buvo nustatyta, kad didelio kontrastingumo dirgikliai sukelia P1 bangą, tačiau mažo kontrastingumo dirgikliai šio potencialo gali ir nesukelti (Michel et al., 1992). Nepaisant didelio kontrasto ar užduočių panašumo, dirginimas nesukėlė P1 potencialo.

Ankstesniuose tyrimuose, naudojusiuose periferijoje pateikiamus dirgiklius, dirgikliai buvo pateikiami išdėstyti ratu aplink fiksacijos tašką (Luck et al., 1990) arba išrikiuosi horizontaliai, tačiau virš arba žemiau horizontalios vidurio linijos (Fu et al., 2010; Heinze et al., 1990). Ramchurn et al. (2014) tyrime dirgikliai buvo išrikiuoti horizontaliai, panašiai taip, kaip mūsų PRL tyrime, tačiau jų tyrimo metu dirgikliai buvo pateikiami trumpai. Mūsų tyrime dirgikliai buvo rodomi visą laiką, tik taikinio pasirodymas truko 100 ms. Gali būti, kad būtent toks dirgiklių pateikimas – horizontalus

išdėstymas ir nuolatinis dirgiklių buvimas ekrane, kai pasikeičia tik nedidelė vaizdo dalis ir tik trumpam, galėjo lemti P1 išnykimą.

N1 komponentą atstovaujančių mikrobūsenų (MB 1 ir MB 2) topografijose neigiamumas buvo išplitęs virš pakaušinių ir momeninių sričių, o jo pikas buvo priešingame stimuliacijai pusrutulyje. Literatūroje taip pat aprašomas N1 komponentas, aptiktas priešingoje pusėje nei buvo pateikiami dirgikliai (Fu et al., 2010; Störmer et al., 2009; Whitford et al., 2011). Su N1 komponentu susijusių mikrobūsenų pasirodymo laikai sutapo su įprasta N1 komponento latencija – 140–200 ms po dirgiklio pasirodymo (Hillyard ir Kutas, 1983; Johannes et al., 1995). Palyginus paprasto RL ir PRL užduočių metu sukeltas N1 bangas, buvo nustatyta, kad N1 komponentas yra atpažinimo ir dėmesio (taip pat ir erdvinio) procesų rodiklis (Vogel ir Luck, 2000).

N1 komponento amplitudė buvo aukštesnė kairiajame pusrutulyje (MB 2 > MB 1). Šie rezultatai sutampa su literatūros duomenimis (Nobre et al., 2000). Tačiau Nobre et al. (2000) naudojo nuorodas erdviniam dėmesiui nukreipti į reikiamą regos lauko pusę, todėl jų aprašyta aukštesnė N1 gali atspindėti ne tik periferijoje pateikiamos stimuliacijos, bet ir dėmesio poveikį.

Patikimai aukštesnė N1 amplitudė buvo būdinga medialinei stimuliacijai (ML, MR), bet ne lateralinei stimuliacijai (LL, RR). Tokius rezultatus galima būtų aiškinti tuo, kad medialiniai dirgikliai veikia abu regos laukus (arba stipriau veikia abu pusrutulius) dėl greitesnio informacijos perdavimo iš vieno pusrutulio į kitą (Iacoboni et al., 1994).

4.5.2. Vėlesni komponentai (~250–460 ms)

P3 komponentas savo latencija ir topografija atitiko MB 5, kurios teigiamumas visose sąlygose buvo plačiai išplitęs virš pakaušinių, momeninių ir centrinių sričių abiejuose pusrutuliuose, su maksimalia verte Pz elektrode. Tai, kad P3 aptikome visose sąlygose, sutampa su literatūros duomenimis. Verleger (1997, 2008) teigia, kad P3 sužadinas visada, kai reikia greitai priimti sprendimą, susijusį su dirgikliu. Kiti autoriai P3 sužadino priežastis įvardija kaip „būtinybę peržiūrėti aplinkos modelį“ (Donchin ir Coles, 1988), arba kaip konteksto atnaujinimą (Donchin, 1981; Donchin ir Coles, 1988). Taip pat buvo pasiūlyta, kad P3 komponentas atsiranda tada, „kai dirgiklio aptikimas įtraukia atminties operacijas“ (Polich, 2007).

Patikimai stipresnis aktyvumas (P3 amplitudė) buvo stebimas esant dešiniojo regos lauko/kairiojo pusrutulio stimuliacijai, palyginti su kairiojo regos lauko/dešiniojo pusrutulio stimuliacija. Be to, dešiniąja ranka pateikiamų atsakymų RL buvo trumpesni. P3 amplitudės padidėjimas koreliuoja su trumpesniais RL (Friedman, 1984; Ramchurn et al., 2014; Roth et al., 1978; Saville et al., 2011). Stipriausias aktyvumas buvo stebimas toje pačioje – RR – sąlygoje, kurioje RL buvo trumpiausi. Kaip ir buvo tikėtasi, ML sąlygoje, kurioje RL buvo ilgiausi, buvo stebimas priešingas reiškinys – P3 aktyvumo sumažėjimas. Patikimas „Lateralizacijos“ veiksnio efektas ($p = 0.026$) parodė, kad stiprumas buvo didesnis lateralinėse nei medialinėse sąlygose, tačiau patikimos „Lateralizacijos“ ir „Pusrutulio“ sąveikos nebuvo nustatyta.

4.5.3. Kiti komponentai

MB 6 buvo pastebėta tik po atsakymo pateikimo. Ši mikrobūsena turėjo momeninį teigiamumą ir kaktinį neigiamumą, kurie sudarė stiprų gradientą netoli motorinės žievės. Kaktinio neigiamumo pikas buvo virš frontocentrinių elektrodo sričių. Frontocentrinis neigiamumas atsiranda 0–150 ms po atsakymo pateikimo ir atspindi teisingų atsakymų vertinimą (Suchan et al., 2003, 2007). Palyginus mūsų rezultatus su literatūros duomenimis, galime manyti, kad MB 6 atspindi vertinimo procesus. Panašiai kaip ir MB 5–P3, MB 6 buvo stebimas „Lateralizacijos“ efektas su patikimai stipresniu aktyvumu esant dešiniojo regos lauko stimuliacijai, palyginti su kairiojo regos lauko stimuliacija ($p = 0.003$), tai galėtų reikšti dešinėsios rankos dominavimą. Šie rezultatai papildė žinias apie periferijoje pateikiamų dirgiklių sukeltą regimosios erdvinės informacijos apdorojimą bei smegenų tinklų aktyvumą.

4.6. Ryšiai tarp SĪSP, RL ir informacijos apdorojimo stadijų

1969 metais Sternberg pasiūlė papildomų veiksnių modelį (angl. *Additive Factor Model*) informacijos apdorojimo etapams tirti, atsižvelgus į RL. Šis modelis leidžia suskirstyti dirgiklio apdorojimą į tam tikrus etapus pradedant dirgiklio pateikimu ir baigiant atsaku į tą dirgiklį. Buvo pasiūlyti tokie informacijos apdorojimo etapai: dirgiklio kodavimas (angl. *stimulus encoding*), informacijos interpretavimas (angl.

translation of the information) ir atsako planavimas (angl. *response organisation*). Remiantis papildomų veiksmių modelyje pateikiamu apdorojimo etapų aprašymu, šiuos etapus galima susieti su tam tikrais SĪSP komponentais: P1 ir N1 komponentai galėtų atitikti dirgiklio kodavimo etapą, kadangi juos veikia selektyvus erdvinis dėmesys (Hillyard ir Anllo-Vento, 1998; Johannes et al., 1995; Luck et al., 1990; Mangun and Hillyard, 1991; Störmer et al., 2009). Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrimo rezultatai parodė, kad P1–MB 2 amplitudė buvo padidėjusi esant didesniam sudėtingumo lygiui – didesnė *Kampo* nei *Spalvos* užduotyje, o tai rodo erdvinio dėmesio poveikį amplitudei.

Interpretavimo (angl. *translation*) etapas papildomų veiksmių modelyje (Sternberg, 1969) galėtų būti susietas su P3 komponentu. Atsako planavimo etapą tikriausiai taip pat būtų galima priskirti P3 potencialui, nes jis atspindi tiek pereinamuosius dirgiklio apdorojimo procesus, tiek atsako planavimo procesus (Verleger et al., 2005), todėl dviejų etapų priskyrimas tam pačiam potencialui atrodo logiškas. Mūsų tyrimuose P3 komponentės skirtumai skirtingose sąlygose priklausė nuo sudėtingumo lygio, užduoties ar dirgiklio pateikimo vietos: erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrime su P3 susijusių mikrobūsenų aktyvumo skirtumai koreliavo su užduoties sudėtingumu; PRL užduotyje stipresnis su P3 komponentu susijusios mikrobūsenos aktyvumas koreliavo su trumpesniu RL į lateralizuotus dirgiklius.

4.7. Pusrutulių asimetrija

Didesnis kairiojo pusrutulio aktyvumas buvo pastebėtas, kai tiriamieji atliko PRL užduotį. Tačiau buvo tikėtasi priešingų rezultatų, nes dešiniojo pusrutulio dominavimas atliekant regimojo erdvinio suvokimo užduotis aprašomas tiek PRL ir paprasto RL (Nobre et al., 1997; Tuch et al., 2005), tiek tyrimų su periferijoje pateikiamais regimaisiais dirgikliais (Sheremata et al., 2010; Stephan et al., 2003; Whitford et al., 2011) rezultatus aprašančioje literatūroje. Dešiniojo regos lauko/kairiojo pusrutulio stimuliacija sukėlė stipresnę atsaką N1 ir P3 komponentų periodu. RL buvo trumpiausi, kai buvo stimuliuojamas dešinysis regos laukas/kairysis pusrutulis. Tai galima interpretuoti kaip kairiojo pusrutulio dominavimą atliekant 4–PRL užduotį su lateralizuotais dirgikliais.

Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo tyrime P1 ir N1 periodu buvo stebimas stipresnis dešiniojo pusrutulio aktyvumas bei stipresni gradientai virš dešiniojo pusrutulio momeninės žievės. Šie rezultatai paremia dešiniojo pusrutulio pirmenybę vykdant regimosios erdvinės informacijos apdorojimą (Colby ir Goldberg, 1999; Mesulam, 1999; Sack et al., 2002b).

4.8. Apibendrinimas

Šis tyrimas buvo atliekamas siekiant iširti laikinę regimosios erdvinės informacijos apdorojimo dinamiką taikant EEG mikrobūsenų metodą. Buvo naudojamos dvi užduotys: 4–PRL užduotis su lateralizuota stimuliacija bei regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo užduotis. EEG mikrobūsenų analizės metodas sėkmingai aptiko regimojo erdvinio suvokimo etapų laikinės smegenų tinklų aktyvumo dinamikos skirtumus: tarp regimojo erdvinio (kampų) ir neerdvinio (spalvos) vertinimo bei tarp skirtingos lateralizuotos stimuliacijos. Elgseninių duomenų analizė atskleidė, kad RL buvo ilgesni regimojo erdvinio vertinimo užduotyje, palyginti su neerdvinio vertinimo užduotimi. Taip pat RL buvo ilgesni esant kairiojo regos lauko stimuliacijai, palyginti su dešiniojo regos lauko stimuliacija. Be to, RL buvo ilgesni į medialinėse nei lateralinėse srityse pateikiamus dirgiklius abiejuose regos laukuose. Mikrobūsenų analizė atskleidė, kad regimasis erdvinis apdorojimas sukelia ilgesnį ir stipresnį su P1 komponentu susijusį aktyvumą, o su P3 komponentu susijusi dinamika – pradžia, trukmė ir stiprumas – skiriasi tarp regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo užduočių. Taip pat nustatyta, kad lateralizuota stimuliacija sukelia lateralizuotą, su N1 komponentu susijusį, aktyvumą, kuris yra stipresnis stimuliuojant dešiniąją medialinę sritį.

Regimojo erdvinio ir neerdvinio vertinimo bei 4–PRL užduotis yra tinkamos užduotys naudoti regimojo erdvinio suvokimo tyrimams EEG metodu ir galėtų būti taikomos kuriant tikrinimo procedūras regimosios erdvinės informacijos apdorojimo sutrikimams tirti.

5. Išvados

1. Su P1 komponentu susijęs aktyvumas trunka ilgiau ir yra stipresnis vykstant regimajam erdviniam apdorojimui nei neerdviniam spalvos apdorojimui.

2. Su P3 komponentu susijusio teigiamumo maksimumas virš momeninės žievės trunka patikimai ilgiau ir yra stipresnis vykstant neerdviniam apdorojimui nei regimajam erdviniam apdorojimui.

3. Su P3 komponentu susijusio teigiamumo maksimumas virš momeninės žievės greičiau persikelia iš momeninės į labiau centrinę padėtį vykstant regimajam erdviniam apdorojimui nei neerdviniam apdorojimui.

4. Lateralizuoti dirgikliai sukelia ankstyvasias lateralizuotas su N1 komponentu susijusias mikrobūsenas ir didžiausias aktyvumas stebimas esant dešiniajai lateralinei stimuliacijai.

6. Literatūros sąrašas

1. Annett M, Annett J (1979) Individual differences in right and left reaction time. *Br J Psychol* 70(3):393–404
2. Barthelemy S, Boulinguez P (2001) Manual reaction time asymmetries in human subjects: The role of movement planning and attention. *Neurosci Lett* 315(1-2):41–44
3. Benton A, Hannay HJ, Varney NR (1975) Visual perception of line direction in patients with unilateral brain disease. *Neurology* 25(10):907–910
4. Benwell CSY, Harvey M, Thut G (2014) On the neural origin of pseudoneglect: EEG-correlates of shifts in line bisection performance with manipulation of line length. *NeuroImage* 86(100): 370–380
5. Bestelmeyer PEG, Carey DP (2004) Processing biases towards the preferred hand: valid and invalid cueing of left- versus right-hand movements. *Neuropsychologia* 42(9):1162–1167
6. Butler PD, Martinez A, Foxe JJ, Kim D, Zemon V, Silipo G, Mahoney J, Shpaner M, Jalbrzikowski M, Javitt DC (2007) Subcortical visual dysfunction in schizophrenia drives secondary cortical impairments. *Brain* 130(Pt 2):417–430
7. Colby CL, Goldberg ME (1999) Space and attention in parietal cortex. *Annu Rev Neurosci* 22(1):319–349
8. de Graaf TA, Jacobs C, Roebroek A, Sack AT (2009) fMRI effective connectivity and TMS chronometry: complementary accounts of causality in the visuospatial judgment network. *PLoS ONE* 4(12):1–11
9. de Graaf TA, Roebroek A, Goebel R, Sack AT (2010) Brain network dynamics underlying visuospatial judgment: An fMRI connectivity study. *J Cogn Neurosci* 22(9):2012–2026
10. Donchin E (1981) Presidential address, 1980. Surprise! ... Surprise? *Psychophysiology* 18(5):493–513
11. Donchin E, Coles MGH (1988) Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav Brain Sci* 11(3):357–374

12. Foxe JJ, Doniger GM, Javitt DC (2001) Early visual processing deficits in schizophrenia: impaired P1 generation revealed by high-density electrical mapping. *NeuroReports* 12(17):3815–3820
13. Frecska E, Symer C, White K, Piscani K, Kulcsar Z (2004) Perceptual and executive deficits of chronic schizophrenic patients in attentional and intentional tasks. *Psychiatry Res* 126(1):63–75
14. Friedman D (1984) P300 and slow wave: The effects of reaction time quartile. *Biol Psychol* 18(1):49–71
15. Fu S, Fedota JR, Greenwood PM, Parasuraman R (2010) Dissociation of visual C1 and P1 components as a function of attention load: An event-related potential study. *Biol Psychol* 85(1):171–178
16. Gomez Gonzalez CM, Clark VP, Fan S, Luck SJ, Hillyard SA (1994) Sources of attention-sensitive visual event-related potentials. *Brain Topogr* 7(1):41–51
17. Hannay HJ, Varney NR, Benton AL (1976) Visual localization in patients with unilateral brain disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 39(4):307–313
18. Heinze HJ, Luck SJ, Mangun GR, Hillyard SA (1990) Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. I. Evidence for early selection. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 75(6):511–527
19. Hillyard SA, Anllo-Vento L (1998) Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proc Natl Acad Sci U S A* 95(3):781–787
20. Hillyard SA, Kutas M (1983) Electrophysiology of cognitive processing. *Ann Rev Psychol* 34:33–61
21. Iacoboni M, Fried I, Zaidel E (1994) Callosal transmission time before and after partial commissurotomy. *NeuroReport* 5(18):2521–2524
22. Johannes S, Münte TF, Heinze HJ, Mangun GR (1995) Luminance and spatial attention effects on early visual processing. *Brain Res Cogn Brain Res* 2(3):189–205
23. Kalyanshetti SB, Vastrad BC (2013) Effect of handedness on visual, auditory and cutaneous reaction times in normal subjects. *Al Ameen J Med Sci* 6(3):278–280
24. Koenig T, Kottlow M, Stein M, Melie-García L (2011) Ragu: a free tool for the analysis of EEG and MEG event-related scalp field data using global randomization statistics. *Comput Intell Neurosci* 2011: doi:10.1155/2011/938925

25. Koenig T, Melie-García L (2009) Statistical analysis of multichannel scalp field data. In: *Electrical Neuroimaging* (Michel CM, Koenig T, Brandeis D, Gianotti LRR, Wackermann J, eds), pp 169–189. New York: Cambridge University Press
26. Koenig T, Melie-García L (2010) A method to determine the presence of averaged event-related fields using randomization tests. *Brain Topogr* 23(3):233–242
27. Koenig T, Pascual-Marqui RD (2009) Multichannel frequency and time-frequency analysis. In: *Electrical Neuroimaging* (Michel CM, Koenig T, Brandeis D, Gianotti LRR, Wackermann J, eds), pp 145–168. New York: Cambridge University Press
28. Koenig T, Stein M, Grieder M, Kottlow M (2014) A tutorial on data-driven methods for statistically assessing ERP topographies. *Brain Topogr* 27(1):72–83
29. Lehmann C, Vannini P, Wahlund LO, Almkvist O, Dierks T (2006) Increased sensitivity in mapping task demand in visuospatial processing using reaction-time-dependent hemodynamic response predictors in rapid event-related fMRI. *NeuroImage* 31(2):505–512
30. Luck SJ, Heinze HJ, Mangun GR, Hillyard SA (1990) Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. II. Functional dissociation of P1 and N1 components. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 75(6): 528–542
31. Mangun GR, Hillyard SA (1991) Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *J Exp Psychol Hum Percept Performe* 17(4);1057–e1074
32. McIntosh AR, Grady CL, Ungerleider LG, Haxby JV, Rapoport SI, Horwitz B (1994) Network analysis of cortical visual pathways mapped with PET. *J Neurosci* 14(2):655–666
33. Mesulam MM (1999) Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events. *Neuropsychology* 354(1387):1325–1346
34. Michel CM, Henggeler B, Lehmann D (1992) 42-channel potential map series to visual contrast and stereo stimuli: Perceptual and cognitive event-related segments. *Int J Psychophysiol* 12(2):133–145

35. Michel CM, Koenig T, Brandeis D (2009) Electrical neuroimaging in the time domain. In: *Electrical Neuroimaging* (Michel CM, Koenig T, Brandeis D, Gianotti LRR, Wackermann J, eds), pp 169–189. New York: Cambridge University Press
36. Murray MM, Brunet D, Michel CM (2008) Topographic ERP analyses: A step-by-step tutorial review. *Brain Topogr* 20(4):249–264
37. Nobre AC, Sebestyen GN, Gitelman DR, Mesulam MM, Frackowiak RSJ, Frith CD (1997) Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography. *Brain* 120(Pt 3):515–533
38. Nobre AC, Sebestyen GN, Miniussi C (2000) The dynamics of shifting visuospatial attention revealed by event-related potentials. *Neuropsychologia* 38(7):964–974
39. Oka S, van Tonder G, Ejima Y (2001) A VEP study on visual processing of figural geometry. *Vision Res* 41(28):3791–3803
40. Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9(1):97–113
41. Polich J (2007) Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol* 118(10):2128–2148
42. Posner MI (1980) Orienting of attention. *Q J Exp Psychol* 32(1):3–25
43. Prvulovic D, Hubl D, Sack AT, Melillo L, Maurer K, Frölich L, Lanfermann H, Zanella FE, Goebel R, Linden DEJ, Dierks T (2002) Functional imaging of visuospatial processing in Alzheimer's disease. *NeuroImage* 17(3):1403–1414
44. Ramchurn A, de Fockert JW, Mason L, Darling S, Bunce D (2014) Intraindividual reaction time variability affects P300 amplitude rather than latency. *Front Hum Neurosci* 8:1–9. doi: 10.3389/fnhum.2014.00557
45. Roth WT, Ford JM, Kopell BS (1978) Long-latency evoked potentials and reaction time. *Psychophysiology* 15(1):17–23
46. Sack AT, Hubl D, Prvulovic D, Formisano E, Jandl M, Zanella FE, Maurer K, Goebel R, Dierks T, Linden DEJ (2002a) The experimental combination of rTMS and fMRI reveals the functional relevance of parietal cortex for visuospatial functions. *Cogn Brain Res* 13(1):85–93
47. Sack AT, Kohler A, Bestmann S, Linden DEJ, Dechent P, Goebel R, Baudewig J (2007) Imaging the brain activity changes underlying impaired visuospatial

- judgments: simultaneous fMRI, TMS, and behavioral studies. *Cereb Cortex* 17(12):2841–2852
48. Sack AT, Sperling JM, Prvulovic D, Formisano E, Goebel R, Di Salle F, Dierks T, Linden DEJ (2002b) Tracking the mind's image in the brain II: Transcranial magnetic stimulation reveals parietal asymmetry in visuospatial imagery. *Neuron* 35(1):195–204
 49. Saville CWN, Dean RO, Daley D, Intriligator J, Boehm S, Feige B, Klein C (2011) Electrocortical correlates of intra-subject variability in reaction time: Average and single-trial analyses. *Biol Psychol* 87(1):74–83
 50. Schechter I, Butler PD, Zemon VM, Revheim N, Saperstein AM, Jalbrzikowski M, Pasternak R, Silipo G, Javitt DC (2005) Impairments in generation of early-stage transient visual evoked potentials to magno- and parvocellular-selective stimuli in schizophrenia. *Clin Neurophysiol* 116(9):2204–2215
 51. Sheremata SL, Bettencourt KC, Somers DC (2010) Hemispheric Asymmetry in Visuotopic Posterior Parietal Cortex Emerges with Visual Short-Term Memory Load. *J Neurosci* 30(38):12581–12588
 52. Steel C, Hemsley DR, Pickering AD (2002) Distractor cueing effects on choice reaction time and their relationship with schizotypal personality. *Br J Clin Psychol* 41(Pt 2):143–156
 53. Sternberg S (1969) The discovery of processing stages: Extension of Donders' method. *Acta Psychol* 30:276–315
 54. Stephan KE, Marshall JC, Friston KJ, Rowe JB, Ritzl A, Zilles K, Fink GR (2003) Lateralized cognitive processes and lateralized task control in the human brain. *Science* 301(5631):384–386
 55. Störmer V, McDonald JJ, Hillyard SA (2009) Cross-modal cueing of attention alters appearance and early cortical processing of visual stimuli. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106(52):22456–22461
 56. Suchan B, Jokisch D, Skotara N, Daum I (2007) Evaluation-related frontocentral negativity evoked by correct responses and errors. *Behav Brain Res* 183(2):206–212

57. Suchan B, Zoppelt D, Daum I (2003) Frontocentral negativity in electroencephalogram reflects motor response evaluation in humans on correct trials. *Neurosci Lett* 350(2):101–104
58. Thulborn KR, Martin C, Voyvodic JT (2000) Functional MR imaging using a visually guided saccade paradigm for comparing activation patterns in patients with probable Alzheimer's disease and in cognitively able elderly volunteers. *AJNR Am J Neuroradiol* 21(3):524–531
59. Tuch DS, Salat DH, Wisco JJ, Zaleta AK, Havelone ND, Rosas HD (2005) Choice reaction time performance correlates with diffusion anisotropy in white matter pathways supporting visuospatial attention. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102(32):12212–12217
60. Vannini P, Almkvist O, Dierks T, Lehmann C, Wahlund LO (2007) Reduced neuronal efficacy in progressive mild cognitive impairment: A prospective fMRI study on visuospatial processing. *Psychiatry Res* 156(1):43–57
61. Vannini P, Almkvist O, Franck A, Jonsson T, Volpe U, Kristoffersen Wiberg M, Wahlund LO, Dierks T (2004) Task demand modulations of visuospatial processing measured with functional magnetic resonance imaging. *NeuroImage* 21(1):58–68
62. Vannini P, Lehmann C, Dierks T, Jann K, Viitanen M, Wahlund LO, Almkvist O (2008) Failure to modulate neural response to increased task demand in mild Alzheimer's disease: fMRI study of visuospatial processing. *Neurobiol Dis* 31(3):287–297
63. Verleger R (1997) On the utility of P3 latency as an index of mental chronometry. *Psychophysiology* 34(2):131–156
64. Verleger R (2008) P3b: Towards some decision about memory. *Clin Neurophysiol* 119(4):968–970
65. Verleger R, Jaśkowski P, Wascher E (2005) Evidence for an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *J Psychophysiol* 19(3):165–181
66. Vogel EK, Luck SJ (2000) The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology* 37(2):190–203

67. White T, Hongwanishkul D, Schmidt M (2011) Increased anterior cingulate and temporal lobe activity during visuospatial working memory in children and adolescents with schizophrenia. *Schizophr Res* 125(0):118–128
68. Whitford TJ, Kubicki M, Ghorashi S, Schneiderman JS, Hawley KJ, McCarley RW, Shenton ME, Spencer KM (2011) Predicting inter-hemispheric transfer time from the diffusion properties of the corpus callosum in healthy individuals and schizophrenia patients: A combined ERP and DTI study. *NeuroImage* 54(3):2318–2329

7. Publikacijos

Antonova I, Bänninger A, Direks T, Griškova-Bulanova I, Koenig T, Kohler A (2015)
Differential recruitment of brain networks during visuospatial and color processing:
Evidence from ERP microstates. *Neuroscience* 305:128-138

Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T (2016)
Reaction time in a visual 4-choice reaction time task: ERP effects of motor preparation,
and hemispheric involvement. *Brain Topography*, doi :10.1007/s10548-016-0473-7

Konferencijų tezės:

1) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. 4-choice reaction time task reveals abnormalities in schizophrenia. 10th Annual Meeting Clinical Neuroscience, Bern, Switzerland, 22.01.2015;18-19

2) Antonova I, Baenninger A, Kohler A, Griskova-Bulanova I, Dierks T, Koenig T. Clock task – effect of difficulty: timing, hemispheric specialization and reaction time. 6th Conference of Lithuanian Neuroscience Association, Vilnius, Lithuania, 05.12.2014;21

3) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. Neurobiological substrates of trial by trial variance of reaction time in a lateralized visual choice task. Resting states and state dependent information processing in health and disease. Proceedings of the Sinergia Monte Verità Conference on Resting States and State Dependent Information Processing in Health and Disease, Ascona, Switzerland, 28.09-01.10.2014;4

4) Antonova I, Baenninger A, Kohler A, Griskova-Bulanova A, Dierks T, Koenig T. Frankfurt clock paradigm vs. Bern clock paradigm: task difficulty effects on visuospatial processing. IPEG 18th Biennial Conference, Leipzig, Germany, 25-28.09.2014;83

5) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. Schizophrenic Patients Show Abnormal Co-activation of the Hemisphere Ipsilateral to the Stimulation Side. FENS 9th Forum of Neuroscience, 05-09.07.2014

- 6) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. Schizophrenic patients show abnormal early brain activation during lateralized visual stimulation. Neuronus 2014 IBRO and IRUN Neuroscience Forum, 25-27.04.2014;35
- 7) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. Schizophrenic Patients Show Abnormal Co-activation of the Left Hemisphere during Left Hemifield Stimulation. SAN/NIHC 2014 Meeting, 30.01.-02.02.2014;83
- 8) Antonova I, Šoliūnas A, Intaitė M. Dviejų dviprasmių figūrų suvokimas. Tarptautinė mokslinė-praktinė konferencija “Virtualūs instrumentai biomedicinoje”, 11.05.2011;35–38

Stendiniai pranešimai:

- 1) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. 4-choice reaction time task reveals abnormalities in schizophrenia. 10th Annual Meeting Clinical Neuroscience, Bernas, Šveicarija, 22.01.2015
- 2) Antonova I, Baenninger A, Kohler A, Griskova-Bulanova I, Dierks T, Koenig T. Clock task – effect of difficulty: timing, hemispheric specialization and reaction time. 6-oji Lietuvos Neuromokslų Asociacijos konferencija, Vilnius, Lietuva, 05.12.2014
- 3) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. Neurobiological substrates of trial by trial variance of reaction time in a lateralized visual choice task. Resting states and state dependent information processing in health and disease. Proceedings of the Sinergia Monte Verità Conference on Resting States and State Dependent Information Processing in Health and Disease, Askona, Šveicarija, 28.09-01.10.2014
- 4) Antonova I, Baenninger A, Kohler A, Griskova-Bulanova A, Dierks T, Koenig T. Frankfurt clock paradigm vs. Bern clock paradigm: task difficulty effects on visuospatial processing. IPEG 18th Biennial Conference, Leipigas, Vokietija, 25-28.09.2014
- 5) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. Schizophrenic Patients Show Abnormal Co-activation of the Hemisphere Ipsilateral to the Stimulation Side. FENS 9th Forum of Neuroscience, Milan, Italija, 05-09.07.2014
- 6) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. Schizophrenic Patients Show Abnormal Co-activation of the Left Hemisphere during

Left Hemifield Stimulation. SAN/NIHC 2014 Meeting, Utrechtas, Nyderlandai, 30.01.-02.02.2014;83

Žodiniai pranešimai:

1) Antonova I, van Swam C, Hubl D, Dierks T, Griskova-Bulanova I, Koenig T. Schizophrenic patients show abnormal early brain activation during lateralized visual stimulation. Neuronus 2014 IBRO and IRUN Neuroscience Forum, Krokua, Lenkija 25-27.04.2014

2) Antonova I, Šoliūnas A, Intaitė M. Dviejų dviprasmių figūrų suvokimas. Tarptautinė mokslinė-praktinė konferencija “Virtualūs instrumentai biomedicinoje”. Klaipėda, Lietuva, 11.05.2011

8. Padėka

Noriu padėkoti už palaikymą, suteiktas žinias, pagalbą ir padrasinimą, kurių sulaukiau iš savo vadovo prof. dr. Thomas Koenig, buvusio vadovo dr. Kastyčio Dapšio bei konsultantės doc. dr. Ingos Griškovos-Bulanovos.

Taip pat dėkoju kolegoms iš Vilniaus universiteto ir Berno universitetinės psichiatrijos ligoninės bei dr. Axel Kohler iš Osnabriuko universiteto.

Esu dėkinga visiems tiriamiesiems už jų dalyvavimą eksperimentuose.

Galiausiai noriu padėkoti savo šeimai ir draugams už jų supratimą ir palaikymą.

9. Gyvenimo aprašymas

Asmeniniai duomenys

Ingrida Antonova

Bitvano k., Kauno raj.

+37060474905

ingrida.antonova@gmail.com

Išsilavinimas

2011 – iki šiol: Biofizikos doktorantūra, Vilniaus universitetas, Gamtos mokslų fakultetas, Neurobiologijos ir biofizikos katedra. Darbo vadovas: prof. dr. Thomas Koenig; konsultantas: doc. dr. Inga Griškova-Bulanova.

2009 – 2011: Neurobiologijos magistras, Vilniaus universitetas, Gamtos mokslų fakultetas

2005 – 2009: Biologijos bakalauras, Vilniaus universitetas, Gamtos mokslų fakultetas

Profesinė praktika

- 1) SCIEX stažuotė, Berno universitetinė psichiatrijos ligoninė, Psichiatrinės neurofiziologijos laboratorija, Bernas, Šveicarija, 2013.11.04 – 2015.05.04
- 2) LMT finansuota stažuotė, Berno universitetinė psichiatrijos ligoninė, Psichiatrinės neurofiziologijos laboratorija, Bernas, Šveicarija, 2012.12.03 – 2013.03.02
- 3) Erasmus profesinė praktika, Kognityvinių neuromokslų centras, Turku universitetas, Suomija, 2010.03.01 – 07.01

Mokyklos, seminarai

- 1) FENS-SFN vasaros mokykla “Neurodevelopmental Psychiatric Disorders“, Bertinoro, Italija, 2014.06.22-28
- 2) Vasaros mokykla IBRO Course in Neuroscience, Ryga, Latvija, 2013.08.21-29
- 3) ECNP seminaras (European College of Neuropsychopharmacology seminars), Baltezers, Latvija, 2013.05.15-17
- 4) Neuromokslų vasaros mokykla „VU-UH 1st Intensive Summer Course in Neuroscience: From Molecules to Behavior“, Vilnius, Lietuva, 2011.06.14-15

Darbo patirtis

2008 – 2010: Reikalų tvarkytoja, Vilniaus universitetas, Medicinos fakultetas, Anatomijos ir histologijos katedra

Moksliniai interesai

Regimasis suvokimas, EEG, su įvykiu susiję potencialai

Konferencijos

- 1) Konferencija 10th Annual Meeting Clinical Neuroscience, Bern, Switzerland, 2015.22.01
- 2) Tarptautinė 6-oji Lietuvos Neuromokslų Asociacijos konferencija, Vilnius, Lietuva, 2014.05.12
- 3) Tarptautinė konferencija „Resting states and state dependent information processing in health and disease. Proceedings of the Sinergia Monte Verità Conference on Resting States and State Dependent Information Processing in Health and Disease“, Askona, Šveicarija, 2014.09.28 – 10.01
- 4) Tarptautinė konferencija IPEG 18th Biennial Conference, Leipcigas, Vokietija, 2014.09.25-28
- 5) Tarptautinė konferencija FENS 9th Forum of Neuroscience, Milanai, Italija, 2014.07.05-09
- 6) Tarptautinė konferencija Neuronus 2014 IBRO and IRUN Neuroscience Forum, Krokva, Lenkija, 2014.04.17-19
- 7) Tarptautinė konferencija SAN2014 Meeting, Utrechta, Nyderlandai, 2014.01.30 – 02.02
- 8) Tarptautinė mokslinė-praktinė konferencija "Virtualūs instrumentai biomedicinoje", Klaipėda, Lietuva, 2011.11.05

10. Reziუმé

CORTICAL DYNAMICS OF VISUOSPATIAL PROCESSING INVESTIGATED BY EEG MICROSTATES METHOD

Summary (in English)

Visuospatial processing includes the processing of information about objects and/or location in space and information about relations between object parts in space. The analysis of relations between object parts in space is called visuospatial judgment, and it processes such spatial features, like line orientation, angles or distances. The brain areas involvement and the right hemisphere dominance in visuospatial processing are well known due to a high spatial resolution of functional magnetic resonance imaging (fMRI). However, a low temporal resolution of fMRI does not allow revealing the temporal dynamics of networks activation steps during visuospatial processing. In contrast, electroencephalography (EEG) has good temporal resolution and can be used to reveal temporal dynamics (onset and duration) of different steps of visuospatial processing. These new findings could be useful to develop easy and relatively cheap EEG based screening procedures to investigate the impairment of visuospatial processing. When a task is performed during EEG recording, event-related potentials (ERPs) can be obtained. ERPs can be analysed by microstate analysis. Microstates are transient stable EEG topographies and can be assigned to a particular ERP based on latency and topography. Microstate analysis provides findings about the temporal dynamics, but it was never used to investigate the visuospatial processing.

The aim of this work was to investigate temporal dynamics of visuospatial information processing by means of EEG microstate analysis. Two experiments were carried out, in order to achieve the aim.

22 healthy right-handed subjects (14 females, 8 males; mean age 26.7 years) participated in visuospatial and non-spatial judgment study with visuospatial judgment and color judgment conditions. 28 healthy right-handed subjects (17 females, 11 males; mean age 35.6 years) participated in study with lateralized visual stimulation and performed a simple 4-choice reaction time (CRT) task.

Behavioural data analysis revealed that reaction times were shorter in non-spatial judgment task and longer in spatial judgment task. Reaction times were shorter when stimulated lateral compared to medial portions of the visual fields. Also, reaction times were faster for right than left visual field stimulation.

EEG microstate analysis detected differences in the temporal dynamics of networks activation during visuospatial processing in two experiments: between visuospatial and non-spatial judgment tasks, and for lateralized stimulation. Microstate analysis revealed that visuospatial judgment evoked longer and stronger P1-related activity compared to non-spatial judgment. P3-related activity differed in onset, duration and activation between visuospatial and non-spatial judgment: P3-related positivity maximum over the parietal cortex lasts significantly longer and is stronger during non-spatial as compared to visuospatial judgment task. P3-related positivity maximum over the parietal cortex shifts faster from parietal to more central location during visuospatial as compared to non-spatial judgment task. It was found that lateralized stimulation evokes lateralized activation related to N1, and this activation is stronger for right medial stimulation.